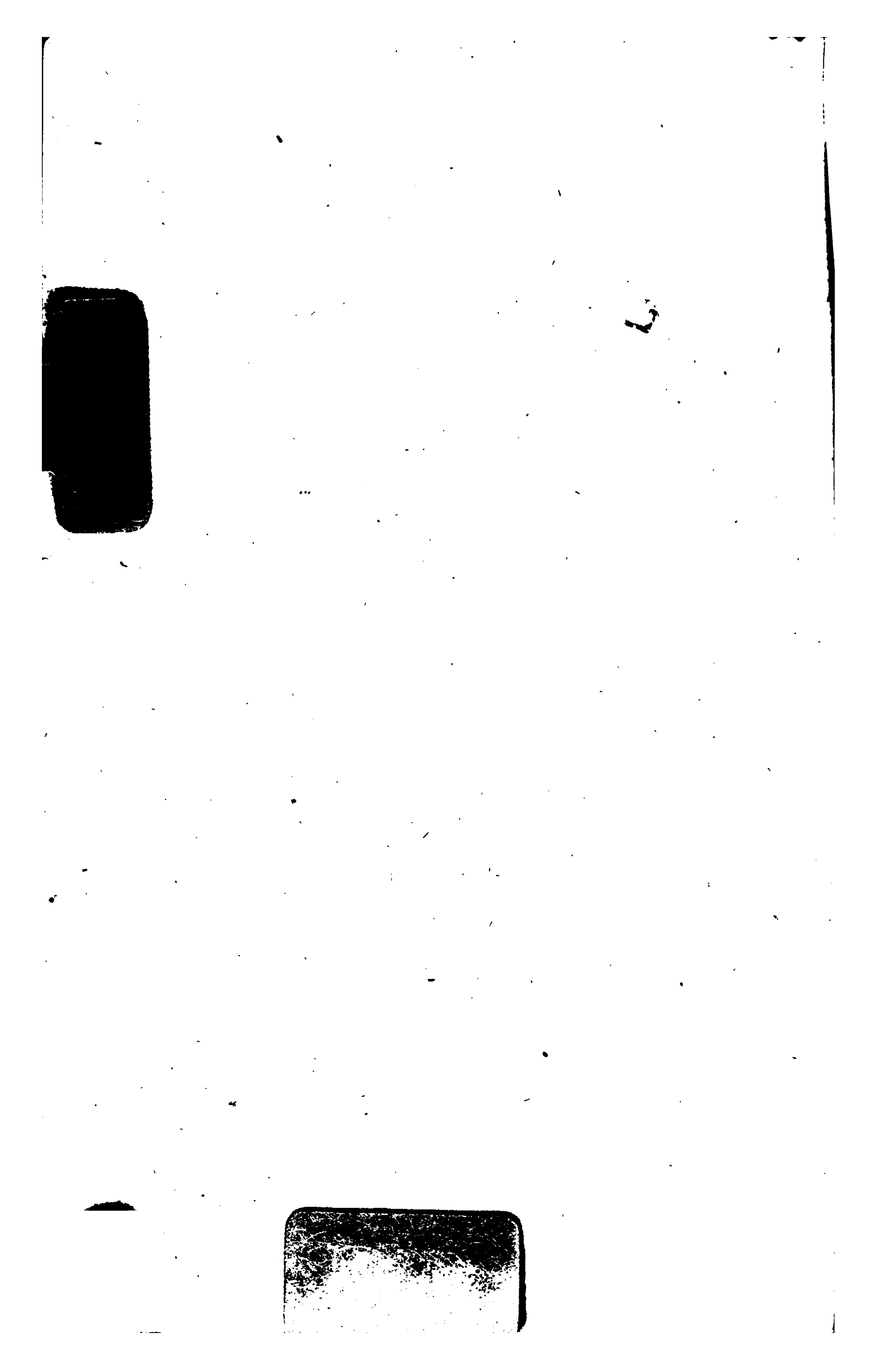


BIBLIOTHÈQUE
SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

Le premier besoin de la science contemporaine, — on pourrait même dire d'une manière plus générale des sociétés modernes, — c'est l'échange rapide des idées entre les savants, les penseurs, les classes éclairées de tous les pays. Mais ce besoin n'obtient encore aujourd'hui qu'une satisfaction fort imparfaite. Chaque peuple a sa langue particulière, ses livres, ses revues, ses manières spéciales de raisonner et d'écrire, ses sujets de prédilection. Il lit fort peu ce qui se publie au delà de ses frontières, et la grande masse des classes éclairées, surtout en France, manque de la première condition nécessaire pour cela, la connaissance des langues étrangères. On traduit bien un certain nombre de livres anglais ou allemands; mais il faut presque toujours que l'auteur ait à l'étranger des amis soucieux de répandre ses travaux, ou que l'ouvrage présente un caractère pratique qui en fait une bonne entreprise de librairie. Les plus remarquables sont loin d'être toujours dans ce cas, et il en résulte que les idées neuves restent longtemps confinées, au grand détriment des progrès de l'esprit humain, dans le pays qui les a vues naître. Le libre échange industriel règne aujourd'hui presque partout; le libre échange intellectuel n'a pas encore la même fortune, et cependant il ne peut rencontrer aucun adversaire ni inquiéter aucun préjugé.

Ces considérations avaient frappé depuis longtemps un certain nombre de savants anglais. En venant en France pour chercher à réaliser cette idée, ils devaient naturellement s'adresser à la *Revue scientifique*, qui marchait dans la même voie, et qui projetait au même moment, après les désastres de la guerre, une entreprise semblable destinée à étendre en quelque sorte son cadre et à faire connaître plus rapidement en France les livres et les idées des peuples voisins.

La *Bibliothèque scientifique internationale* n'est donc pas une entreprise de librairie ordinaire. C'est une œuvre dirigée par les auteurs mêmes, en vue des intérêts de la science, pour la populariser sous toutes ses formes, et faire connaître immédiatement dans le monde entier les idées originales, les directions nouvelles, les découvertes importantes qui se font jour dans tous les pays. Chaque savant exposera les idées qu'il a introduites dans la science et condensera pour ainsi dire ses doctrines les plus originales.

La *Bibliothèque scientifique internationale* ne comprendra point seulement des ouvrages consacrés aux sciences physiques et naturelles; elle abordera aussi les sciences morales comme la philosophie, l'histoire, la politique et l'économie sociale, la haute législation, etc.; mais les livres traitant des sujets de ce genre se rattacheront encore aux sciences naturelles, en leur empruntant les méthodes d'observation et d'expérience qui les ont rendues si fécondes depuis deux siècles.

Cette collection paraît à la fois en français, en anglais, en allemand, en russe et en italien; à Paris, chez Germer Baillière; à Londres, chez Henry S. King et Cie; à New-York, chez Appleton; à Leipzig, chez Brockhaus; à Saint-Pétersbourg, chez Koropchevski et Goldsmith, et à Milan, chez Dumolard.

OUVRAGES PARUS.

Voir la liste au feuillet suivant.

OUVRAGES EN PRÉPARATION

Auteurs français.

CLAUDE BERNARD. Phénomènes physiques et métaphysiques de la vie.
HENRI SAINTE-CLAIRE DEVILLE. Introduction à la chimie générale.
A. WÜRTZ. Atome et atomicité.
C. VOGT. Les animaux fossiles.
H. DE LACAZE-DUTHIERS. La zoologie depuis Cuvier.
TAINE. Les émotions et la volonté.
N. JOLY. L'homme avant les métaux.
CHAUVEAU. Physiologie des virus.
GÉNÉRAL FAIDHERBE. Le Sénégal.
ALFRED GRANDIDIER. Madagascar.
A. GIARD. L'embryogénie générale.
DEBRAY. Les métaux précieux.
P. BERT. Les êtres vivants et les milieux cosmiques.
LORAIN. Les épidémies modernes.
GÉNÉRAL BRIALMONT. Histoire des fortifications.

Auteurs anglais.

HUXLEY. Mouvement et conscience.
W. B. CARPENTER. Géographie physique des mers.
RAMSAY. Structure de la terre.
SIR J. LUBBOCK. Premiers âges de l'humanité.
CHARLTON BASTIAN. Le cerveau comme organe de la pensée.
NORMANN LOCKYER. L'analyse spectrale.
W. ODLING. La chimie nouvelle.
LAUDER LINDSAY. L'intelligence chez les animaux inférieurs.
MICHAEL FOSTER. Protoplasma et physiologie cellulaire.
ED. SMITH. Aliments et alimentation.
AMOS. La science des lois.
THISELTON DYER. Les inflorescences.
K. CLIFFORD. Les fondements des sciences exactes.

Auteurs allemands.

VIRCHOW. Physiologie des maladies.
HERMANN. La respiration.
LEUCKART. L'organisation des animaux.
O. LIEBREICH. La toxicologie.
REES. Les plantes parasites.
ROSENTHAL. Physiologie des nerfs et des muscles.
LOMMEL. L'optique.
STEINTHAL. La science du langage.
WUNDT. L'acoustique.
F. COHN. Les Thallophytes.
PETERS. Le bassin du Danube au point de vue géologique.
FUCHS. Les volcans.

Auteurs américains.

J. DANA. L'échelle et les progrès de la vie.
J. COOKE. La chimie nouvelle.
AUSTIN FLINT. Les fonctions du système nerveux.

Auteurs russes.

KOSTOMAROF. Les chansons populaires et leur rôle dans l'histoire de Russie.
MAÏNOF. Les hérésies socialistes en Russie.
PODGOWINE. Histoire de la morale.
LOUTSCHITZKY. Le développement de la philosophie de l'histoire.
JACOBY. L'hygiène publique.
KAPOUSTINE. Les relations internationales.

BIBLIOTHÈQUE

SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

XVI

BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

Volumes in-8° reliés en toile anglaise. — Prix : 6 fr.

VOLUMES PARUS.

J. Tyndall. Les glaciers et les transformations de l'eau, suivis d'une étude de M. *Helmholtz* sur le même sujet, et de la réponse de M. Tyndall. Avec 8 planches tirées à part sur papier teinté et nombreuses figures dans le texte........................ 6 fr.

W. Bagehot. Lois scientifiques du développement des nations dans leurs rapports avec les principes de l'hérédité et de la sélection naturelle, 2e édition............................ 6 fr.

J. Marey. La machine animale, locomotion terrestre et aérienne. Avec 117 figures dans le texte.... .... 6 fr.

A. Bain. L'esprit et le corps considérés au point de vue de leurs relations, suivis d'études sur les *Erreurs généralement repandues au sujet de l'esprit*. Avec figures.......................... 6 fr.

J. A. Pettigrew. La locomotion chez les animaux. Avec 130 figures dans le texte.. 6 fr.

Herbert Spencer. Introduction a la science sociale, 2e édit. 6 fr.

Oscard Schmidt. Descendance et darwinisme. Avec figures. 6 fr.

H. Maudsley. Le crime et la folie........................ 6 fr.

P. J. Van Beneden. Les commensaux et les parasites dans le règne animal. Avec 83 figures dans le texte............... 6 fr.

Balfour Stewart. La conservation de l'énergie, suivie d'une étude sur La nature de la force, par *M. P. de Saint-Robert*. Avec figures.. 6 fr.

Draper. Les conflits de la science et de la religion...... 6 fr.

Léon Dumont. Théorie scientifique de la sensibilité. Plaisir et peine.. 6 fr.

Schutzenberger. Les fermentations. Avec 28 figures dans le texte. .... 6 fr.

Whitney. La vie du langage............................ 6 fr.

Cooke et Berkeley. Les champignons. Avec 110 figures dans le texte... 6 fr.

Bernstein. Les sens, avec 91 figures dans le texte........... 6 fr.

Berthelot. La synthèse chimique.......................... 6 fr.

Vogel. La photographie et la chimie de la lumière, avec 100 figures.. 6 fr.

VOLUMES SUR LE POINT DE PARAITRE.

Claude Bernard. Histoire des théories de la vie.
Émile Alglave. Les principes des constitutions politiques.
Luys. Le cerveau et ses fonctions, avec figures.
Stanley Jevons. La monnaie et le mécanisme de l'échange.
Friedel. Les fonctions en chimie organique.
De Quatrefages. L'espèce humaine.
A. Giard. L'embryogénie générale.

Coulommiers. — Typ. A MOUSSIN.

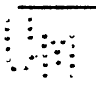
LES SENS

PAR

J. BERNSTEIN

PROFESSEUR DE PHYSIOLOGIE A L'UNIVERSITÉ DE HALLE.

Avec 91 figures dans le texte.



> L'homme doit croire avec fermeté que l'incompréhensible deviendra compréhensible ; sans cela il cesserait de scruter.
>
> GŒTHE.



PARIS
LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE
17, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 17

1876

PRÉFACE

Le présent ouvrage n'a point la prétention d'être systématiquement complet : ce n'est pas non plus une œuvre de vulgarisation dans le sens étendu de ce mot. L'auteur a cependant suivi l'ordre qui s'est introduit par la suite des temps dans les cours et les ouvrages élémentaires; mais cet ordre est souvent interrompu par des considérations générales de physique ou de physiologie qui faciliteront l'intelligence des faits. C'est dans ce but aussi qu'il a été obligé de modifier le style habituel des livres destinés au grand public. Il croit toutefois être en droit de ranger son œuvre dans la classe des ouvrages populaires; il a essayé de faire dépasser souvent au lecteur la limite du cercle qui renferme ce que l'on considère habituellement comme des connaissances vulgaires, et il invoque l'indulgence des lecteurs s'il n'a point toujours réussi à aplanir le chemin qui conduit à des connaissances plus élevées.

On a joint au texte des figures destinées à en faciliter

l'intelligence. Il y en a d'originales, mais un grand nombre d'entre elles sont tirées d'ouvrages scientifiques spéciaux et ont été souvent modifiées pour le but particulier que l'auteur se proposait d'atteindre. La plupart des figures de physique sont puisées dans l'*Atlas de physique* de J. Müller (Leipzig, 1871). Les autres figures sont tirées des ouvrages suivants : Kœlliker, *Éléments d'histologie humaine* (Paris, 1868); Stricker, *Manuel d'Histologie* (Leipzig, 1871); Helmholtz, *Optique physiologique* (Paris, 1867); *Théorie physiologique de la musique* (Paris, 1868). Nous prierons le lecteur qui voudrait acquérir des notions plus approfondies sur les sciences traitées dans cet opuscule, de recourir aux ouvrages que nous venons de citer.

J. B.

INTRODUCTION

Il s'est développé dans le règne animal un certain nombre d'organes possédant la propriété de procurer, aux organismes individuels, la connaissance des phénomènes du monde extérieur : on les a nommés *Organes des sens*. Ils sont arrivés à leur plus haute perfection chez l'homme dont l'activité psychique a dépassé, dans la même mesure, celle de tous les autres organismes.

Tous les organes des sens sont dans une liaison directe et anatomiquement démontrable avec le système nerveux, par des troncs et des filaments nerveux. Il est impossible de concevoir que nous puissions sentir, voir, entendre, odorer ou goûter sans l'existence d'un système nerveux, même si les organes des sens étaient arrivés à leur développement le plus parfait. Un œil dont le nerf optique est détruit ne peut plus nous présenter une image du monde extérieur; une oreille dont le nerf acoustique est déchiré ne nous amène plus de son ; un bras dont le nerf est lésé, est tout à fait insensible. Un œil de cette nature peut ressembler parfaitement à un œil sain, il peut se laisser pénétrer par les rayons lumineux et former une image des objets sur sa paroi postérieure, et cependant cette image ne parviendra pas à notre perception parce que la liaison

avec le cerveau, cette station centrale du système nerveux, manque. Il en est de même de l'oreille sourde et du bras insensible. Les organes des sens ne sont par conséquent que des instruments de l'âme dont le siége est dans le cerveau et qui se sert de ces instruments, par l'entremise des nerfs, pour acquérir la connaissance des objets. Les forces actives du monde extérieur, la lumière, la chaleur, le son, le mouvement, l'affinité chimique, produisent dans les organes des sens une excitation des nerfs sensitifs qui s'y rencontrent et ces nerfs transmettent, à travers toute leur longueur, l'impression reçue jusqu'au cerveau. Chaque organe des sens possède par conséquent un stimulus spécifique qui le met en état d'excitation. Les terminaisons du nerf optique dans l'œil ne peuvent être excitées que par des ondes lumineuses et non par des ondes sonores : les terminaisons du nerf acoustique dans l'oreille au contraire sont excitées par ces dernières. La pression mécanique et la chaleur produisent l'excitation spécifique des nerfs sensitifs de la peau et quelques substances chimiques produisent une excitation déterminée sur les nerfs du goût et de l'odorat.

La véritable *perception* sensuelle ne peut évidemment se produire que dans le cerveau. La *perception de la lumière* ne se fait point dans l'œil, car dans cet organe il ne se produit qu'une impression lumineuse sur le nerf optique étalé : la perception de la lumière ne peut pas non plus se produire dans le nerf optique, car celui-ci ne fait autre chose que propager au cerveau l'état d'excitation de l'œil. Ce n'est donc que dans le cerveau stimulé par l'irritation du nerf optique, que se produit un phénomène absolument mystérieux, la *perception de la lumière*; et comme on peut poursuivre le nerf optique jusqu'à son origine dans le cerveau, on admet que le phénomène se passe dans le *centre d'origine des nerfs optiques*.

L'œil n'est donc qu'un instrument d'optique, recueillant les rayons lumineux; le nerf optique n'est autre chose qu'un appa-

reil conducteur propageant au cerveau la nouvelle d'une excitation. On a observé pendant les opérations chirurgicales qué, lorsque le nerf optique est tiraillé, comprimé ou tranché, l'opéré perçoit, au moment de la lésion, un fort éclair lumineux. Cette lumière n'a point son origine dans la réalité puisqu'elle n'est perçue que par les personnes opérées. Cette perception doit son origine uniquement à l'irritation mécanique du nerf optique, irritation qui est propagée jusqu'au centre des nerfs optiques et y fait naître le phénomène de la perception lumineuse, comme si l'excitation était partie de l'œil même. La perception de la lumière se produit dans ces cas sans lumière objective extérieure, et elle naît toujours lorsque le nerf optique est irrité d'une façon ou d'une autre par des influences capables d'exciter aussi les autres nerfs, tels qu'électricité, chaleur, ou substances chimiques. Dans ces cas jamais la lumière objective, c'est-à-dire les ondes lumineuses de l'éther, ne joue un rôle quelconque. De ce fait nous tirons la preuve irréfutable que, dans la vision habituelle par le nerf optique, ce n'est point une portion quelconque de la lumière qui est transportée au cerveau, mais que c'est au contraire un état d'excitation particulière au nerf. Cet état d'excitation est produit dans l'œil par la lumière, mais il peut être éveillé tout aussi bien dans le tronc nerveux par une pression, par l'électricité, par la chaleur ou par des moyens chimiques. Quel que soit celui de ces excitants qui ait agi, l'effet produit sur le nerf optique est toujours le même, et le résultat final sur le centre des nerfs optiques se traduit toujours par une perception lumineuse. Les mêmes phénomènes doivent se passer dans les autres organes des sens et dans leurs nerfs. Un son n'est transporté que jusqu'aux extrémités du nerf acoustique, mais il n'est point conduit par le nerf jusqu'au cerveau. Le nerf irrité à ses extrémités propage jusqu'au cerveau et fait naître, dans le centre des nerfs acoustiques, la *perception du son.*

La perception du son peut donc aussi se produire sans qu'une onde sonore pénètre dans l'oreille, lorsque le nerf acoustique est irrité d'une façon quelconque soit par une pression, soit par un tiraillement, par l'électricité, etc. Il se produit alors toujours dans le nerf l'état d'excitation qui se traduit, dans le centre des nerfs acoustiques, par la perception du son.

Il est de toute évidence que nous sommes obligés d'appliquer ces considérations aux autres organes des sens qui servent au goût, à l'odorat ou au tact. Les nerfs des sens n'ont d'autre tâche que de propager l'excitation nerveuse née à leur extrémité dans les organes des sens, jusqu'à leurs centres sensitifs dans le cerveau. Cette excitation n'est point du tout comparable à l'excitation primitive : ce n'est point de la lumière ou du son, ni une pression, ni de la chaleur, ni la diffusion d'un liquide dégustable ou d'un gaz odorant. Elle est au contraire un phénomène de nature particulière, et l'on admet avec raison qu'elle est identiquement la même dans tous les nerfs du corps parce qu'elle nous montre partout, dans les nerfs musculaires comme dans les nerfs sensitifs, les mêmes phénomènes et qu'elle est soumise à des lois identiques. Le nerf garde aussi peu la trace de l'irritation que la trace de la sensation. Lorsque l'on a coupé un nerf sensitif en un point quelconque, on peut irriter, aussi fortement que l'on voudra, la portion détachée, la sensation fera toujours défaut. Le tronçon central restera au contraire sensible dans toute son étendue.

Le phénomène de la perception ne peut se produire que dans les centres sensitifs et nulle part ailleurs. C'est l'état d'excitation d'un centre sensitif qui constitue la modification matérielle correspondante à la perception d'une sensation. Il est même inutile que le nerf sensitif correspondant produise cette excitation, car nous éprouvons des sensations évidentes dans les rêves, sans que des excitations sensitives agissent sur le nerf, et ces sensations sont le produit d'une cause excitante interne

agissant sur les centres sensitifs. Des excitations anormales ou morbides, comme on les rencontre dans les affections cérébrales, une composition anormale du sang dans les maladies fébriles, peuvent aussi faire naître de ces sensations subjectives que l'on désigne alors par le nom de délire ou d'hallucinations.

Il devient évident, d'après ces considérations, que nous ne percevons point les objets extérieurs eux-mêmes, mais uniquement les modifications particulières qui se font dans les centres sensitifs.

Mais comment se fait-il que, malgré cela, nous transportions nos sensations internes dans le monde extérieur? Comment se fait-il que tout ce que nous voyons, tout ce que nous entendons, tout ce que nous ressentons est rapporté, par nous, à l'extérieur. Ce fait, qui, de prime abord, paraît si simple et si naturel à l'intelligence saine, a cependant besoin de quelque examen.

Nous pouvons brièvement répondre à la question proposée que, depuis notre naissance, nous apprenons par *expérience* à interpréter nos sensations et que par des milliers d'expériences variées que nous entreprenons dans la vie ordinaire, au moyen de l'œil, de l'oreille ou des membres, nous sommes arrivés à concevoir que l'objet de notre sensation, c'est-à-dire la cause finale de nos sensations, se trouve au dehors de nous. L'enfant nouveau-né a certainement des sensations. La lumière qui pénètre dans son œil, agit sans conteste sur le cerveau, car la pupille se contracte sous son influence et ce phénomène ne peut se produire sans la participation du centre optique du cerveau. Mais cette perception n'est qu'interne, absolument comme la sensation de la faim ou de la réplétion, elle n'est certainement point encore transportée à l'extérieur. On observe cependant que l'enfant commence peu à peu à viser les objets par des mouvements de la tête et des yeux, c'est-à-dire, qu'il

s'efforce de mettre l'œil dans une position telle que l'image de l'objet tombe sur le point de la vision la plus distincte au centre de la rétine. Il n'est cependant pas encore nécessaire d'admettre, à cette période du développement, un transfert à l'extérieur de l'image observée. L'action de viser les objets ne se produit pas non plus tout d'un coup, mais elle se développe peu à peu par une tendance inconstante de remuer les yeux occasionnée peut-être par l'excitation de la lumière. Lorsque dans ces cas le point de la vision distincte tombe par hasard sur un objet dont la clarté, la couleur ou le mouvement excite l'attention, l'enfant, lorsque ces faits se seront renouvelés, apprendra graduellement par l'expérience, à exécuter volontairement les mouvements nécessaires.

Mais le sens du toucher s'exerce en même temps que le sens de la vue. Les sensations tactiles ne sont pas non plus, au début, transportées sur les objets situés à l'extérieur et sont probablement ressenties comme sensations internes et comme obstacles au mouvement. Mais parmi les premiers objets que l'on aperçoit se trouve la main, l'organe tactile le plus important, et comme elle possède la propriété d'exécuter un grand nombre de mouvements dans l'espace, l'œil verra bientôt la main se mouvoir et palper et, par conséquent, plusieurs sensations produites par ces exercices arriveront dans le même moment à la perception. Pendant que la main touche un objet, l'œil ne voit pas seulement l'objet mais en même temps la main, et pendant que la main fait un mouvement il perçoit en même temps le sentiment interne de la motion musculaire, la sensation tactile naissante et, par le moyen de l'œil, le mouvement visible de la main et celui de l'objet.

C'est cette simultanéité de la sensation optique et de la sensation tactile, qui nous amène graduellement la conviction que l'objet perçu par les deux sens se trouve dans le monde extérieur. Il faut sans doute pour arriver à ce degré de connais-

sance une conclusion logique dont l'origine reste encore pour nous une énigme de la vie intellectuelle, mais qui s'exécute à notre insu et ne se développe que graduellement. Cette conclusion consiste à admettre que, si deux sensations, la sensation tactile et la sensation visuelle, se font toujours simultanément, elles doivent avoir une seule et même cause et que par conséquent l'objet vu et touché est un seul et même objet.

Cependant cette conclusion logique ne suffit pas encore pour arriver à transférer les objets à l'extérieur. Elle est suivie d'une seconde conclusion, qui peut sans doute nous paraître très-scientifique, mais qui ne l'est point en réalité puisqu'elle s'exécute à notre insu.

Les deux sensations simultanées du toucher et de la vision sont deux sensations de nature diverse et qui se forment dans deux centres sensitifs différents du cerveau. Si donc la cause de nos sensations se trouvait à l'intérieur des organes percevants il faudrait qu'elle existât en même temps dans les organes de la vision et dans ceux du toucher et qu'elle fût pour les deux de nature différente. Elle devrait donc paraître double. Mais d'après notre première conclusion elle est *simple* et non double, elle n'est donc *pas interne*, il faut qu'elle soit *externe.*

L'action simultanée du toucher et de la vision est en effet pour l'intelligence humaine une source considérable de connaissances dans le domaine du monde extérieur. Nous ne voulons cependant point soutenir que le toucher seul, sans l'aide de l'œil, ne puisse nous amener des connaissances. On peut même penser que le toucher seul, sans l'aide de la vue et de la fixation, nous mène à distinguer notre corps du monde extérieur. Car le toucher de notre propre corps par la main amène toujours une double sensation tactile, la première par la main, la seconde par la partie touchée de la peau, tandis que le toucher d'un corps étranger ne produit qu'une seule et uni-

que sensation tactile par le moyen de l'organe du toucher. C'est sur cette base logique que se construit notre conception du monde extérieur, quoiqu'il nous soit difficile de ramener cet acte de notre intelligence à des conclusions logiques simples.

Lorsqu'une fois on est arrivé à concevoir que l'objet touché appartient au monde extérieur, l'éducation de la vue se fait promptement. La coïncidence simultanée d'une sensation tactile et d'une sensation visuelle, un mouvement aperçu en même temps par l'œil et senti par la main qui palpe, la naissance de l'impression tactile au moment même où l'œil s'aperçoit du contact de la main et de l'objet, tous ces faits nous mènent à la certitude que la cause des deux sensations est la même et que si nous projetons au dehors la sensation tactile, il faut entreprendre la même opération pour la sensation visuelle.

Nous devons distinguer les impressions reçues par les sens d'autres impressions ressenties par le corps et que l'on désigne sous le nom de *sensations générales*. Parmi celles-ci on distingue surtout la sensation de douleur qui est répandue sur presque tout le corps. La différence caractéristique entre ces sensations générales et les sensations produites par les organes des sens, consiste en ce que nous recevons par ces dernières connaissance des objets et des modifications du monde extérieur et que nous transportons les perceptions qu'elles produisent dans les objets extérieurs eux-mêmes, tandis que nous ne percevons, par la sensibilité générale, que des modifications de notre propre corps

La limite entre la sensation tactile et la sensation de douleur peut être rendue évidente par l'exemple suivant proposé par Ernest Henri Weber. Lorsque nous appliquons le tranchant d'un couteau aiguisé sur la peau, nous sentons le tranchant par le moyen du sens du toucher, nous avons une im-

pression sensible que nous rapportons à l'objet cause de cette impression. Mais si, au moyen de ce couteau, nous faisons une incision dans la peau nous ressentons de la douleur, sensation que nous ne rapportons plus au couteau tranchant, mais que nous sentons être en nous et qui nous donne connaissance d'un changement dans l'état de notre propre corps. Nous ne sommes pas en état de reconnaître, par cette sensation douloureuse, l'instrument qui l'a produit ni sa nature.

Les sensations au moyen des organes des sens nous paraissent être par conséquent d'un ordre plus élevé et plus parfait que les sensations générales. La sensibilité générale du corps est, il est vrai, le terrain commun d'où naît aussi la sensibilité par les sens, mais cette dernière s'élève à une perfection beaucoup plus grande, puisque, par le moyen d'organes de structure très-délicate situés à la périphérie du corps, elle est excitée par les forces du monde extérieur et que l'intelligence est ainsi mise en rapport immédiat avec le monde.

LES SENS

LIVRE PREMIER

LE SENS DU TOUCHER

CHAPITRE PREMIER

QUALITÉS DU SENS DU TOUCHER. — SENS DU TACT ET ORGANES DU TACT. — SENS LOCALISATEUR DE LA PEAU.

Nous savons par expérience que chaque point de notre peau possède une certaine sensibilité et que certaines parties du tégument sont plus ou moins sensibles. Cette propriété est communiquée à la peau par une grande quantité de nerfs qui prennent leur origine dans le cerveau ou dans la moelle épinière et qui s'étalent et se ramifient dans le corps. Ces nerfs ont seuls la propriété de communiquer au corps de la sensibilité, car dès qu'un de ces nerfs est lésé ou malade, la partie du corps qu'il pourvoit devient par cela même insensible.

La peau peut donc être considérée comme un organe de sens enveloppant tout le corps et destiné à rendre sensibles aux influences extérieures tous les points de notre périphérie. Ces influences de nature diverse excitent en nous des actions sensitives spéciales et sont en même temps en union indissoluble avec certains phénomènes intellectuels. Il est vraiment curieux d'examiner la variété d'impressions que nous pouvons

recevoir par la seule entremise de la peau et l'on ne peut douter que, si nous ne possédions ni œil ni oreille, cet organe sensitif suffirait à lui seul pour construire autour de nous un monde dont l'horizon serait sans doute très-rétréci. En effet, les objets à portée immédiate de notre atteinte ou en contact direct avec notre corps seraient les seuls qui s'offriraient à notre connaissance et qui trahiraient leurs propriétés ou leur structure par une impression quelconque sur la peau : par contre un grand nombre d'objets et de phénomènes de la nature resteraient un mystère pour nous. Nous pourrions reconnaître la forme et la structure d'un corps, en le palpant avec les mains, avec autant de certitude qu'au moyen de l'œil, surtout si nous considérons que notre attention intellectuelle se concentrerait avec plus de force sur le sens du toucher, comme cela arrive chez les aveugles. Nous ne pouvons rester dans l'incertitude sur la grandeur et les dimensions d'un objet, du moment où nous pouvons le toucher et le comparer à la grandeur de notre main ou de notre corps, et nous pourrons de même juger en toute sûreté des qualités de sa surface, lisse ou rugueuse, droite ou courbe. En un mot les objets naturels, en tant qu'ils diffèrent entre eux par la forme, se révèleraient au sens du toucher avec assez de netteté pour donner une impulsion à notre activité vitale. Il est même possible que notre intelligence pourrait puiser, dans ces perceptions, la matière de pensées abstraites, qu'elle pourrait s'élever à l'idée d'une ligne, d'un angle, d'un triangle, etc., d'où il résulterait que les mathématiques constituent une science indépendante de la vue quoique en réalité elle ait pris naissance dans des observations visuelles.

Mais l'activité sensuelle de notre peau nous apprendrait encore bien plus sur la nature des corps que sur leur forme. Au moyen des organes mobiles de notre corps, nous sommes à même de juger de la pesanteur des corps, en estimant la force que nous employons à les soulever. Mais tout objet exerce en même temps par sa pesanteur une pression sur la peau, pression que nous ressentons et qui nous donne aussi une idée de sa pesanteur. Toute autre force peut exercer, comme la pesan-

teur, une pression sur la peau et nous possédons toujours la faculté d'estimer la force de la pression qui s'exerce sur la peau. Un poids posé sur notre main et une poignée de main amicale diffèrent très-peu entre eux quant à leurs propriétés physiques, quels que soient du reste leurs effets psychologiques, et dans les deux cas nous mesurons, par la pression ressentie, la force qui la produit.

Mais les facultés perceptrices de la peau ne sont point épuisées par les propriétés que nous venons de citer; elle possède encore une autre aptitude qui lui est tout à fait spéciale et qui ne peut être remplacée par aucun autre organe du corps. Tandis que nous pouvons bien mieux juger par l'œil que par le tact de la forme des corps et que nous employons ce dernier sens pour compléter simplement les connaissances acquises par l'œil, tandis que nous estimons la force qui produit une pression, principalement par l'activité de nos muscles, la sensibilité pour la chaleur et le froid est spéciale à la peau et n'est partagée par aucun autre organe du corps. L'œil peut cependant, au moyen de certains caractères acquis par l'expérience, nous avertir fréquemment de la chaleur d'un corps, lorsque nous apercevons par exemple ce corps incandescent ou à l'état de vaporisation, mais l'œil ne possède point la propriété de percevoir la chaleur. Cette propriété appartient uniquement à la peau : et il est d'une très-grande importance pour l'économie animale que cette propriété soit étendue à toute la surface du corps car la peau l'entoure comme d'une muraille protectrice contre un ennemi fâcheux, le froid, qui l'anéantirait s'il pouvait le pénétrer sans obstacle. Mais l'approche de cet ennemi nous est annoncée par une sensation générale, le frisson interne, qui est produit par le refroidissement de la peau et qui nous avertit de le repousser. Cette propriété de la peau nous avertit avec autant de sûreté de l'approche de la chaleur qui pourrait devenir aussi nuisible au corps que le froid. La peau possède donc divers modes de sensibilité. De même que l'œil sait distinguer, parmi les sensations visuelles, celles qui se rapportent à la forme du corps de celles qui se rapportent à

la couleur, de même la sensibilité tactile de la peau peut distinguer diverses propriétés des corps touchés, comme la forme, la dureté, l'état solide, mou ou fluide et enfin la température.

La propriété que possède la peau de reconnaître la forme des corps est désignée sous le nom de *sens du tact*. La propriété que possède la peau d'estimer la force de pression qu'un corps exerce sur elle est désignée sous le nom de *sens de la pression*. Enfin la propriété que possède la peau de ressentir la chaleur ou le froid s'appelle *sens de la température*. Notre aptitude à découvrir jusqu'à un certain point les propriétés des corps par le toucher seul, se compose de la réunion de ces trois espèces de sensations. La sensibilité cutanée se décompose en ces trois variétés qui se réunissent ordinairement en une perception simultanée : mais il est nécessaire, pour les recherches scientifiques, de les séparer artificiellement, à peu près comme l'on décompose la lumière blanche en ses parties constitutives au moyen d'un prisme, afin de pouvoir les examiner isolément.

Outre ces sensations spécifiques, la peau possède encore une sensation générale qui ne manque pas du reste aux organes internes du corps, c'est-à-dire la sensation de douleur. Cette sensation se produit dès que la cause d'irritation appliquée à la peau dépasse certaine puissance et quelle que soit la nature de la cause, pression, chaleur, froid, action chimique de substances caustiques. Mais nous ne devons pas compter la douleur parmi les sensations proprement dites puisque nous ne pouvons, par son entremise, acquérir de notions sur la nature des corps externes. Nous pouvons sans doute distinguer le plus souvent si la douleur cutanée est produite par la combustion ou par la cautérisation au moyen d'un acide ou par l'application d'un instrument tranchant, mais cette distinction ne se fait qu'à l'aide des sensations spéciales qui se perçoivent en même temps et qui sont les sensations de pression, de tact et de température. Si nous faisons abstraction de ces dernières, la sensation de douleur possède, dans tous les cas possibles, le même caractère, ce qui devient évident lorsque la douleur persiste quoique la cause productrice soit éloignée. Un froid

excessif, par exemple l'attouchement d'acide carbonique congelé, produit absolument la même douleur qu'une brûlure.

Nous comprenons sous le nom de palpation une opération assez compliquée. Nous nous servons pour palper des organes les plus convenables, des mains dont les extrémités digitales sont douées de la plus exquise sensibilité tactile. Mais notre action ne consiste point seulement à toucher le corps, les mouvements des mains jouent un très-grand rôle dans la palpation, car nous faisons voyager ces organes si sensibles sur toute l'étendue de l'objet que nous palpons. Ce procédé, que nous pourrions appeler plus justement *palpation active*, consiste par conséquent en une combinaison de mouvements et de sensations, au moyen de laquelle nous mettons successivement divers points de l'objet en contact avec les parties sensibles de la peau. Notre intelligence combine alors ces divers points explorés en un seul tout, d'où résultent des lignes, des surfaces, en un mot toute la superficie d'un corps dont les parties isolées se réunissent en une image commune.

Dans la vie ordinaire le toucher sert seulement d'auxiliaire à l'œil ; c'est pour ce motif que nous ne le perfectionnons que très-peu : et nous nous apercevons souvent, dans l'obscurité, de son peu d'utilité pour la reconnaissance des objets. Mais ce sens peut être considérablement perfectionné par l'exercice : nous pouvons nous en assurer par l'exemple des aveugles que la nécessité pousse à ce perfectionnement ; nous pouvons encore nous en assurer par la finesse tactile de la langue, habituée à tâtonner dans l'obscurité, et qui est si bien au fait de ce qui se passe dans la cavité buccale, qu'elle en reconnaît exactement tous les replis, les recoins les plus minimes et chaque dent en particulier.

La sensation que l'on éprouve par l'attouchement de la peau est de nature beaucoup plus simple. Si, sans mouvement de notre part, une autre personne touche avec une certaine force un point quelconque de notre peau au moyen d'un crayon ou d'une tête d'épingle, nous pouvons, les yeux fermés, indiquer avec plus ou moins d'exactitude le point touché. Cette faculté est parfaite à la main et elle l'est d'autant plus que nous appro-

chons davantage de l'extrémité des doigts. Nous distinguons parfaitement l'attouchement de l'une ou de l'autre des trois phalanges et nous pouvons indiquer avec assez de précision l'intervalle entre le point touché et l'extrémité du doigt. Cette sensation est aussi très-marquée à la figure et au front et elle est très-délicate aux lèvres et à la langue. L'expérience nous apprend qu'il n'est aucun point de la surface cutanée qui soit insensible à un attouchement exécuté avec une pression plus ou moins forte. Mais la détermination de l'endroit touché est beaucoup moins exacte aux bras, aux jambes et aux autres parties de la peau, qu'aux mains et à la figure.

Cette faculté de déterminer l'endroit de l'attouchement se nomme *sens localisateur* de la peau : elle est un des facteurs du sens du toucher. La sensation d'un attouchement ne suffit pas par elle-même pour éclairer ce phénomène, mais l'action sensuelle consiste en outre dans la localisation de l'attouchement ressenti. Cette dernière faculté est une action psychique d'un ordre plus élevé, qui se passe évidemment dans le cerveau et qui ne peut s'expliquer qu'en admettant qu'il existe pour ainsi dire dans notre intelligence une image de la surface de notre corps, image qui nous permet de rechercher et de trouver avec plus ou moins de sûreté le point de l'attouchement. Mais comment peut-on se représenter la relation qui existe entre la surface du corps et l'intelligence, c'est-à-dire avec le cerveau qui en est le siége ? La physiologie des nerfs nous fournira des éclaircissements suffisants sur cette question.

Une grande partie des nerfs de la sensibilité prend son origine dans le cerveau ou dans la moëlle épinière. Ces nerfs sont tous composés d'une grande masse de fibres qui se séparent au voisinage de la peau et se terminent dans cet organe d'une façon tout à fait spéciale.

La peau elle-même est composée de trois couches (fig. 1) [1] : sur le tissu cellulaire sous-cutané (*d f*), qui est souvent très-riche en graisse, s'étale la première couche ou derme (de *c* à *b*) composée d'un tissu assez compacte qui se change en cuir par le

1. Kölliker. Gewebelehre.

tannage. Ce derme montre à sa surface une plus ou moins grande quantité de saillies cylindriques ou coniques (*e*) que l'on a nommées *papilles* sensitives. Sur le derme s'étale la *couche muqueuse* composée d'un très-grand nombre de petites cellules microscopiques qui remplissent exactement les creux qui se rencontrent entre les papilles du derme. La couche la plus superficielle, *couche cornée* ou *épiderme* (a), est consti-

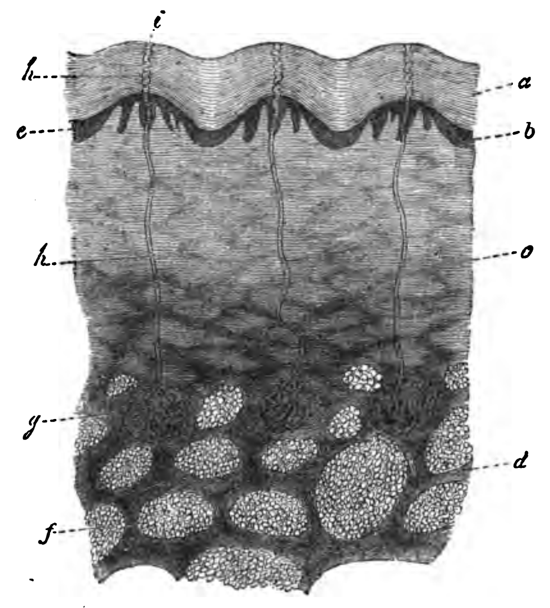
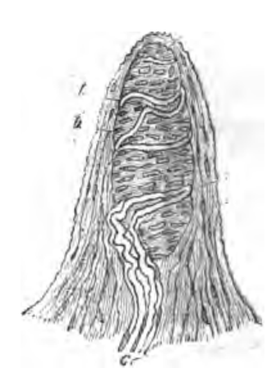


Fig. 1.

tuée par une membrane continue et dense formée aussi de cellules soudées mais remplies de substance cornée solide.

Les vaisseaux sanguins et les nerfs ne pénètrent que jusqu'à la superficie du derme et dans ses papilles; la couche muqueuse et l'épiderme sont complétement privées de vaisseaux et de nerfs. On voit en outre sur la figure les glandes sudoripares (*g*) dont les canaux (*h*) traversent la peau jusqu'à la superficie. Après leur dissociation les fibres isolées des nerfs cutanés pénètrent dans le derme et l'on remarque qu'elles se terminent d'une façon toute spéciale dans les papilles. Un

grand nombre de ces papilles contiennent un petit corpuscule ovoïde *b* (fig. 2); une fibrille nerveuse s'approche de ce corpuscule, l'entoure de quelques tours de spire et s'y perd. On les a nommés *corpuscules tactiles* et l'on ne peut douter qu'ils ne servent d'organes au sens du toucher. On ne les rencontre pas en effet en nombre égal à toutes les régions de la peau, mais ils sont beaucoup plus nombreux aux endroits où le sens du toucher est le plus délicat et plus disséminés là où le toucher est plus obtus. Ils sont extraordinairement serrés à l'extrémité des doigts où, sur une ligne carrée, on en rencontre une centaine environ. Ils sont aussi assez abondants à la paume de la main, tandis qu'ils sont beaucoup plus rares sur le dos de cet organe. A la paume de la main les papilles, dont toutes ne contiennent point de corpuscules, sont aussi très-nombreuses et rangées en séries régulières : de là résulte l'aspect strié que l'on y remarque. On a encore remarqué d'autres modes de terminaison des nerfs cutanés, analogues à ceux qui s'observent dans les corpuscules tactiles : par exemple dans des vésicules allongées (corpuscules de Pacini) munies d'une cavité où le nerf vient se terminer. En résumé, on rencontre sur toute la surface cutanée des organes terminaux de nature spéciale destinés aux nerfs du toucher, et si nous voulons analyser physiologiquement le phénomène de cette sensation, il faut que nous partions de l'excitation produite à l'extrémité d'un nerf sensible en un point déterminé de la peau et que nous suivions le parcours de cette excitation jusqu'au cerveau.


Fig. 2.

L'on peut, jusqu'à un certain point, déterminer exactement par l'anatomie, le trajet du nerf sur lequel une irritation produite se propagera depuis la peau jusqu'au cerveau. La fibre nerveuse qui se termine dans la peau forme, jusqu'à son origine dans le cerveau ou la moëlle, un filament long, délicat et

ininterrompu. Les filaments cutanés des nerfs se réunissent, il est vrai, bientôt en ramuscules, en rameaux et finalement en troncs épais, avant de s'engager dans les organes nerveux centraux; mais on ne rencontre nulle part, dans ce trajet, la fusion de deux fibrilles entre elles. Nous pouvons donc admettre qu'il existe des liaisons isolées entre chaque point de la peau et les centres nerveux, liaisons comparables, jusqu'à un certain point, à des fils télégraphiques qui se réunissent en une station centrale.

La physiologie du système nerveux, qui a fait de grands progrès notamment dans l'étude des fonctions des nerfs moteurs, nous éclaire sur la marche de l'excitation nerveuse : elle nous apprend que l'excitation d'une fibre se propage dans toute sa longueur, sans se communiquer aux fibres contiguës. Un fil télégraphique doit être, comme on sait, parfaitement isolé et protégé contre toute déviation du courant galvanique, si la nouvelle communiquée doit atteindre une station déterminée. Mais les fibres nerveuses, dans lesquelles se passe un phénomène tout différent et à transmission beaucoup plus lente que l'électricité, n'ont point besoin d'être isolées, et quoiqu'elles se réunissent au nombre de plusieurs milliers, la transmission de l'irritation de l'une à l'autre est tout à fait impossible.

Si donc, par l'attouchement d'une région cutanée, nous excitons l'extrémité de la fibre nerveuse qui s'y distribue, cette excitation est propagée isolément par cette même fibre jusqu'à son point d'origine dans le centre nerveux. La sensation ne commence que lorsque l'excitation est arrivée au centre nerveux; nous ne savons pas exactement en quoi elle consiste, m is elle ne peut se produire que dans le centre nerveux. Cette sensation est combinée à la conviction intime que l'excitation a agi sur une place déterminée de la peau : nous transportons même, par notre conception, tout le phénomène de la sensation dans la peau, quoiqu'elle n'y ait pas son siége et qu'elle se produise dans le cerveau. Il nous est absolument impossible de séparer la sensation elle-même de l'endroit où l'excitation s'est faite. Irritation et perception se confondent quant au lieu, dans notre entendement : l'expérimentation physiologique et

les phénomènes morbides des nerfs nous apprennent, au contraire, que cette confusion n'existe pas dans la réalité. La section d'un nerf, en détruisant la sensibilité dans une portion du corps, nous prouve que la sensation ne peut point naître dans les parties corporelles et qu'elle ne peut pas non plus avoir son siége véritable dans le nerf : un nerf n'est capable de produire une sensation que lorsqu'il est encore relié au cerveau ou à la moëlle.

D'après une loi générale qui régit les nerfs de la sensibilité générale comme ceux des sensations spéciales, nous reportons les sensations qu'ils produisent dans les organes terminaux à la place même où la cause stimulante est appliquée. Cette loi ne s'applique point seulement aux nerfs sensibles de la peau, elle s'applique encore, avec plus d'évidence, au nerf optique, dont l'excitation se produit dans la rétine de l'œil. Mais la sensation visuelle ne peut se faire que dans le cerveau, car elle devient impossible dès que le nerf optique est tranché, et cependant nous transportons l'image perçue à l'extérieur, nous la projettons pour ainsi dire hors de l'œil dans le monde extérieur qui nous entoure. Ce fait, que l'on appelle *loi des sensations excentriques*, peut s'expliquer seulement en admettant l'hypothèse que nos facultés perceptives se perfectionnent uniquement par l'expérience. Nous savons par expérience quelle sensation nous éprouvons par l'attouchement de notre peau ; comme nous nous sommes convaincus des milliers de fois dans notre vie que la cause de cette sensation particulière est produite uniquement par l'attouchement de la peau et comme nous n'avons pas de signe qui nous indique qu'une excitation est transportée à travers un très-long nerf jusqu'au cerveau, notre conception transporte tout le phénomène de la sensation à la place même où, d'après notre expérience, la cause évidente de l'irritation est appliquée.

Nous pouvons, à l'aide de ces considérations, nous expliquer le sens des lieux dans la peau, c'est-à-dire la faculté de localiser exactement une cause d'irritation qui y est appliquée. De tous les points de la peau des fibres nerveuses à conductibilité

isolée se rendent, à peu près comme des fils télégraphiques, au centre nerveux du cerveau, où se forme la sensation en question. Le cerveau peut donc être considéré comme la station terminale de ces voies nerveuses, qui reçoit les dépêches qu'elles lui amènent et qui les présente à la perception. Mais le cerveau distingue aussi parfaitement par quelle voie l'une quelconque de ces dépêches lui arrive de l'extérieur ; comme dans un bureau, où aboutissent beaucoup de fils, l'employé du télégraphe sait, par expérience, de quelle direction proviennent les nouvelles que chaque fil apporte, de même aussi le cerveau sait parfaitement par l'expérience acquise d'où provient une irritation lorsqu'une fibre nerveuse déterminée la lui a amenée, et il attribue pour ce motif toute la sensation au point de la peau qui a été irrité. Nous pouvons croire que le cerveau s'est formé, dans sa conception, une image complète de la surface de notre corps, image qui s'est construite graduellement par l'expérience et qui s'est de plus en plus perfectionnée. Les fibres nerveuses sont à leur origine en relation déterminée avec cette image, ou plutôt avec la portion du cerveau où cette image est formée, et l'on peut concevoir que chaque point de la surface du corps se trouve relié par un filament conducteur au point homologue de l'image formée dans le cerveau. Lors donc qu'une excitation est transportée par une fibre nerveuse déterminée, elle éveillera dans le cerveau l'image du point de la peau où l'excitation était appliquée.

On comprend, dès lors, qu'une localisation exacte de la sensation ne peut exister que quand tous les organes conducteurs sont dans un ordre parfait. Si l'irritation se transportait d'une fibre à l'autre, le cerveau ne pourrait plus distinguer de quel point elle est partie et ne serait plus en état de la localiser.

Il est une observation très-intéressante que l'on fait souvent chez des personnes auxquelles, pour faire une opération, on a déplacé une portion de peau de sa situation primitive pour la greffer à une autre place. Les chirurgiens font, par exemple, une opération de ce genre pour remplacer un nez détruit par une maladie ou manquant à la naissance : ils détachent un

lambeau triangulaire de la peau du front, lambeau qui ne communique plus que par sa pointe avec la racine nasale entre les sourcils, puis ils le rabattent et, au moyen de sutures, le rattachent à la peau du visage pour remplacer le nez. Ce nouveau nez se soude bientôt à l'endroit greffé et lorsqu'on le pique avec une aiguille, le malade ne sent pas la piqûre dans ce nouveau nez, mais il la rapporte au front, à la place qu'occupait autrefois le lambeau. Ce mode de sensation persiste encore longtemps après l'opération et c'est graduellement que le possesseur du nouveau nez arrive à la conviction que l'endroit de la sensation a changé de place et qu'il apprend peu à peu par l'expérience à désigner exactement ce lieu.

On fait une observation toute aussi intéressante sur les amputés. Ces personnes prétendent fréquemment ressentir dans leurs jambes ou dans leurs bras amputés des sensations comme si ces membres existaient encore. Ils y éprouvent les sensations du froid et de la chaleur, ils prétendent ressentir de la douleur dans tel ou tel orteil de la jambe amputée, ils y sentent des chatouillements, des démangeaisons, etc., et indiquent exactement le lieu où ces sensations semblent se faire. L'explication de ce fait est très-simple. Dans le moignon du membre amputé on rencontre les troncs nerveux coupés qui fournissaient les filets sensibles à tout le membre. Or, dans la cicatrice guérie il existe souvent des causes d'irritation pour les troncs nerveux, et comme cette excitation nerveuse est propagée au cerveau, elle produit une sensation et réveille en même temps, par habitude pour ainsi dire, l'image de la partie du corps où les filaments nerveux se terminaient naturellement. Le cerveau transporte alors, par l'habitude acquise, cette sensation dans le membre du corps d'où partent les nerfs excités, même lorsque ce membre n'existe plus.

Ce phénomène si remarquable fournit la preuve évidente, que le phénomène de la sensation ne se produit que dans les centres nerveux du cerveau, puisque, quand même un membre fait défaut, la sensation de son existence et de son irritabilité n'est point abolie.

CHAPITRE DEUXIÈME

SENSIBILITÉ DU SENS TACTILE. — CERCLES DE SENSATION A LA PEAU. — RELATION ENTRE LE SENS DU TACT ET L'ACTIVITÉ CÉRÉBRALE. — ILLUSIONS TACTILES.

Le pouvoir tactile n'est pas également développé sur toutes les parties du corps. Nous savons, par expérience, qu'il est bien développé aux mains, puisque nous nous servons de ces organes pour palper les objets. La main, grâce à sa mobilité et à sa structure articulée, convient mieux que toute autre partie du corps à cette fonction, et nous trouvons en général dans le règne animal, que tous les organes destinés à palper les objets sont doués d'une mobilité aussi grande que possible, comme les antennes des insectes, la trompe de l'éléphant, et la langue de tous les animaux. Mais la mobilité ne suffit pas seule, pour procurer à un tel organe les fonctions d'organe tactile, il faut encore que sa surface soit munie d'une grande sensibilité tactile pour le rendre capable de sentir de petites différences d'espace.

Toutes les autres parties du corps, sauf la main et peut-être le pied, sont peu propres au toucher, non pas seulement à cause de leur situation incommode et de leur forme imparfaite, mais surtout parce que leur peau ne possède qu'un sens local peu développé. Il nous serait très-difficile de déterminer à l'aide de notre bras seul, les yeux étant fermés, la forme d'un

corps quelque simple qu'il soit : nous y parviendrions déjà plus facilement en nous servant du pied et nous atteignons très-rapidement ce but au moyen de la main. Il paraît très-naturel, que les membres qui possèdent la plus grande mobilité aient aussi la sensibilité tactile la plus délicate, et l'on peut dire avec raison, que la sensibilité de ces membres se développe probablement par l'exercice et qu'elle se transmet par hérédité. Chez les singes, dont le pied est organisé comme la main pour la préhension, la sensibilité des deux membres est probablement presque égale, puisque les deux organes sont également exercés au toucher. Chez l'homme, dont le pied est transformé en instrument locomoteur, la sensibilité tactile de cet organe est beaucoup moins développée qu'à la main : mais il est intéressant de remarquer que, chez les personnes privées des mains, la sensibilité tactile des pieds se développe considérablement par l'exercice, en même temps que la mobilité devient plus grande, en sorte que ces individus peuvent s'en servir pour écrire et pour exécuter divers ouvrages que l'on ne fait ordinairement qu'avec les mains.

Ernest Henri Weber a employé une méthode très-ingénieuse pour mesurer l'acuité du sens du toucher ou plutôt du sens localisateur en diverses régions de la peau. Cette méthode est basée sur l'expérience très-intéressante que nous allons décrire et que chacun peut répéter avec la plus grande facilité. Deux personnes prennent part à cet essai, l'une d'entre elles soumettant à l'épreuve les sensations tactiles de l'autre. On prend dans ce but un compas à pointes un peu obtuses et présentant un écartement déterminé et on applique ces pointes sur une région de la peau de l'autre personne. Celle-ci doit indiquer, les yeux clos, si elle sent l'attouchement de deux pointes séparées ou si au contraire les deux pointes semblent se confondre en une seule.

Le résultat de cette expérience est extraordinairement surprenant lorsqu'on l'exécute sur des parties peu sensibles de la peau. Lorsqu'on applique par exemple les pointes du compas, distantes entre elles de quatre centimètres, sur l'avant-bras

dans le sens de la longueur du bras, on percevra parfaitement une double sensation, mais dès qu'on diminuera l'écartement des pointes au-dessous de trois centimètres on ne sentira plus que l'attouchement d'une seule pointe, c'est-à-dire que l'attouchement des deux pointes se confondra en une seule sensation, et c'est un véritable étonnement pour celui sur lequel on a expérimenté de voir, lorsqu'il ouvre les yeux, que deux points de sa peau, aussi éloignés l'un de l'autre, ont été touchés.

On peut ainsi rechercher expérimentalement pour chaque région cutanée jusqu'à quel degré on peut rapprocher les pointes du compas avant que la double sensation se transforme en sensation unique; plus l'écart des deux pointes s'amoindrit, plus le sens local de cette région est délicat. C'est la pointe de la langue qui dans cette expérience se montre le plus sensible, car elle ressent déjà une double sensation par un écart d'un millimètre seulement. Puis vient l'extrémité des doigts qui peut distinguer un écart de deux millimètres. A la main le sens local diminue graduellement vers l'articulation carpienne; il est beaucoup plus délicat à la paume que sur le dos de la main qui, à la distance de quatre à cinq millimètres, n'éprouve plus de double sensation.

A la région faciale ce sont les lèvres qui présentent une sensibilité locale assez délicate. Lorsque l'on applique les deux pointes sur la joue près de l'oreille avec un écart qui permet de sentir distinctement une double sensation et qu'on les rapproche lentement des lèvres, on éprouve la même sensation que si les deux pointes s'écartaient l'une de l'autre. La finesse de la sensibilité locale augmente en effet à mesure qu'on se rapproche de la bouche, et puisque la distinction des points touchés devient de plus en plus évidente, ces points nous paraissent aussi s'écarter entre eux. On éprouve une sensation analogue en appliquant obliquement les pointes à l'avant-bras et en les amenant lentement vers la main et aux extrémités digitales. On croit aussi dans ce cas que les lignes, tracées par les pointes, quoique parallèles, s'écartent de plus en plus entre elles, parce que le

sens local augmente rapidement dans la direction des doigts.

La peau du dos possède la sensibilité tactile la plus obtuse, car elle éprouve encore une sensation unique par l'attouchement des deux pointes écartées entre elles de quatre à six centimètres. L'écart qu'on est obligé de donner aux pointes du compas pour produire une sensation double sur le dos est vraiment surprenant. Aux bras et aux jambes la sensibilité tactile augmente en raison de l'éloignement du tronc et en accord avec l'augmentation de la mobilité : la sensibilité est en outre plus considérable sur le côté de la flexion que sur celui de l'extension. Lorsque l'on mesure l'écart nécessaire aux deux pointes pour que la sensation double passe brusquement à la sensation simple et que l'on répète cette mesure en divers sens sur une même région de la peau, on obtient pour cette région une figure de forme circulaire : deux points quelconques situés à l'intérieur de cette figure produisent toujours une sensation simple. Dans beaucoup de régions, au bras par exemple, cette figure prend la forme d'un ovale allongé, parce que la distinction des points touchés se fait mieux dans le sens transversal que dans le sens longitudinal. On appelle ces figures plus ou moins circulaires *cercles de sensation* et l'on a ainsi divisé la peau de tout le corps, au moyen de la mensuration, en cercles de sensation, qui varient extraordinairement pour la grandeur et dont la forme est aussi sujette à des variations considérables.

L'existence de ces cercles de sensation nous fournit l'explication d'une expérience remarquable. Lorsqu'on applique à la peau un tuyau métallique, à bords triangulaires ou carrés, on n'arrive pas facilement à reconnaître la forme de ce tuyau. On reconnaît d'autant mieux cette forme que les cercles de sensation sont plus petits et dans ce cas on peut beaucoup diminuer le diamètre du tuyau. Mais sur les régions cutanées à sensibilité obtuse, la sensation reste toujours la même, quelle que soit la forme du tuyau, tant que le diamètre de celui-ci ne dépasse point considérablement le diamètre d'un cercle de sensation. En effet lorsque tous les points du bord du tuyau

se trouvent dans l'intérieur d'un même cercle sensitif, ils se confondent en un seul point. Nous ne pouvons pas distinguer sur le bras un tuyau triangulaire, circulaire ou carré, lorsque son diamètre ne dépasse pas deux centimètres, tandis que nous les différencions très-facilement avec la paume de la main.

On distingue encore moins facilement des corps à forme plus compliquée. Chacun peut se convaincre combien il est facile de reconnaître une lettre ou même des mots que l'on trace sur la paume de la main à l'aide d'un stylet, pourvu que ces lettres aient une grandeur moyenne. Sur le bras, l'expérience rencontre déjà des difficultés et au dos l'on ne reconnaît plus que de très-grandes lettres. Dans ces cas du reste, la distinction devient plus facile que lorsque l'on appose à la peau une figure toute faite, car l'attention a le temps de se porter successivement sur chaque point de la figure tracée. Toujours faut-il cependant que, pour être reconnue, une lettre s'étende sur plusieurs cercles de sensation.

Pour comprendre les faits précités, nous sommes obligés d'avoir recours de nouveau aux relations anatomiques qui existent entre la peau et le centre nerveux. Nous savons que toutes les régions de la peau sont desservies par des fibres nerveuses séparées, dans lesquelles l'excitation se propage isolément, et nous avons conclu que le cerveau a appris, par expérience, à quelle région de la peau appartient chaque fibre nerveuse qui lui apporte une nouvelle du dehors. Pour préciser encore plus cette conception on a dit que chaque fibre nerveuse est munie dans le cerveau d'un *signe local*, c'est-à-dire d'un signe de reconnaissance pour la place dans laquelle elle se termine. Mais, par ce mot, on ne dit naturellement rien du tout et il vaut mieux en rester à l'idée que le cerveau a acquis par l'expérience la faculté de reconnaître le lieu où l'excitation a été appliquée à une fibre nerveuse.

Mais l'expérience nous apprend bientôt que cette faculté cérébrale a des bornes, car, sur toutes les régions de la peau, il existe des places où l'écart entre deux points n'est plus ressenti et où ces points semblent se fusionner en un seul : cet écart

peut même être très-considérable pour diverses régions de la peau. Tous les points situés dans l'intérieur d'un cercle de sensation ne sont plus séparés entre eux par le cerveau et toutes les irritations, transportées de ces divers points au cerveau, se confondent dans l'entendement en une seule sensation.

L'explication la plus facile de ce fait, consisterait à admettre qu'un cercle entier de sensation est desservi par une seule fibre nerveuse. On pourrait concevoir que l'étalement terminal d'une fibre s'étendrait sur tout l'espace d'un cercle de sensation et que les limites de l'étalement des fibres seraient en raison directe de la grandeur des cercles sensitifs.

Mais des raisons majeures s'opposent à l'admission de cette hypothèse. On a observé, il est vrai, que les fibres nerveuses se divisent un grand nombre de fois dans la peau, mais comme les cercles de sensation atteignent des diamètres de six centimètres dans les régions à sensibilité obtuse, il en résulterait qu'une seule fibre nerveuse devrait s'étaler sur un espace aussi grand. On ne peut point admettre cette supposition car, quoique la faculté de distinguer deux points très-distants d'un même cercle, n'existe pas, il n'est cependant pas un seul point dans tout cet espace qui ne soit sensible ; si par conséquent un grand cercle sensitif ne recevait du cerveau qu'une seule fibre nerveuse, celle-ci serait obligée de se diviser en un nombre incommensurable de fibrilles pour desservir tout le cercle.

En outre, l'expérience suivante contredit la supposition. Prenons sur le bras deux cercles sensitifs contigus 1-2 (fig. 3) mesurés à partir de leurs centres *c* et *d*. Si le cercle 1 s'était desservi par une fibre 1, et le cercle 2 par une autre fibre 2, on comprendrait que les points *a* et *b*, situés à l'intérieur du cercle 1, produisent une sensation unique, parce que la même fibre nerveuse est excitée par eux. Mais l'attouchement des points centraux *c* et *d*, aussi éloignés l'un de l'autre que le sont *a* et *b*, devrait, d'après cette hypothèse, paraître double et non unique, puisque ces points appartiennent à des fibres nerveuses différentes. Bien plus, deux points beaucoup plus

rapprochés, *m* et *n*, devraient donner une sensation double parce qu'ils se trouvent dans la circonspection de deux fibres différentes. Mais il n'en est point ainsi. Les points *c* et *d* ne produisent qu'une seule sensation : il en est de même, à plus forte raison, des points *m* et *n*.

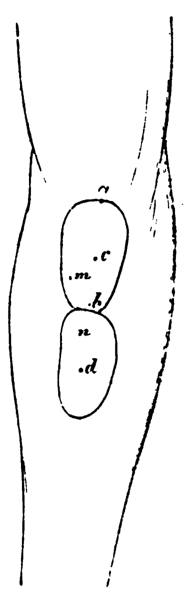


Fig. 3.

Nous voyons par ce fait, qu'il est impossible que la limite d'expansion d'une fibre nerveuse atteigne l'étendue d'un cercle de sensation complet. Sans cela il devrait exister des limites sensibles où les faits devraient se passer comme nous venons de le dire, car si, avec les pointes du compas nous passions du cercle 1 au cercle 2, nous devrions éprouver subitement une double sensation dès que l'une des pointes dépasserait la limite d'un cercle et comme ceci n'a point lieu, il en résulte qu'il n'y a point, sur la peau, de confins sensibles dans le sens admis précédemment.

La meilleure explication de tous les faits rapportés jusqu'ici a été donnée par Ernest Henri Weber, qui a acquis tant de mérites dans cette partie de la physiologie et dans d'autres encore. Il admet que le champ d'expansion d'une fibrille nerveuse est beaucoup plus restreint que le cercle de sensation trouvé par la mensuration, en sorte que chacun de ceux-ci reçoit toujours un nombre assez considérable de fibres isolées. Si l'on irrite deux champs d'expansion nerveuse, on n'obtiendra une sensation double que lorsqu'il se trouvera entre eux un certain nombre de champs non excités. Ces champs, dont les fibres ne sont point irritées simultanément et qui sont situés entre les point irrités, amènent le cerveau à l'idée que deux points différents de la peau ont été touchés et ils indiquent en même temps, par le nombre des fibres non irritées, la distance à laquelle se trouvent les points touchés.

Dans la figure 4 chaque petit hexagone représente le champ d'expansion d'une fibre nerveuse. Admettons qu'il faille douze de ces petits champs intercalaires pour obtenir une sensation double ; *a* et *b* se trouveront ainsi sur la limite de la sensation simple. Il en sera de même de *c* et de *d* puisqu'il faut entre eux le même nombre de champs intercalaires. L'on reconnaît ainsi pourquoi, en promenant le compas sur la peau, la sensation ne se dédouble point tout à coup, car aussi longtemps qu'il existe douze champs intercalaires entre les pointes du compas, la sensation restera simple. Il résulte encore de cette explication, qu'un cercle de sensation n'a point de limites précises sur la peau et que l'on peut le concevoir déplacé à volonté ainsi que l'indique la ligne ponctuée de la figure, pourvu qu'il contienne le nombre nécessaire de champs nerveux dans toutes les directions.

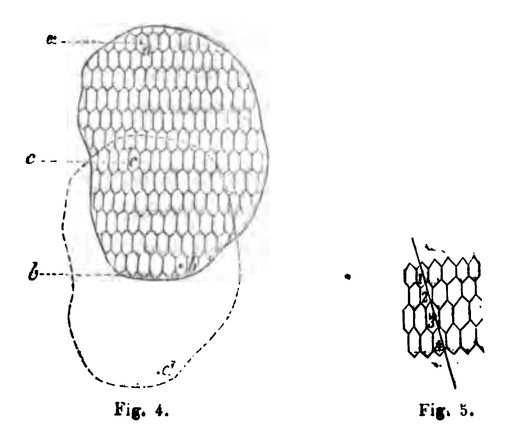


Fig. 4. Fig. 5.

La peau est, par conséquent, divisée par les champs d'expansion nerveuse, à peu près à la manière d'une mosaïque : chaque fibre nerveuse correspond à un petit champ de la mosaïque que nous pouvons désigner comme l'arrondissement tactile de cette fibre. L'attouchement d'un de ces arrondissements tactiles produit la représentation d'un lieu bien déterminé de la peau, mais lorsque deux champs sont touchés en même temps, il n'en résulte pas nécessairement une sensation double, parce que nous

ne pouvons pas les séparer par un caractère quelconque. Nous nous convaincrons qu'il doit en être ainsi, si, plaçant une saillie linéaire, le bord aigu d'une plaque par exemple, sur la peau, nous analysons attentivement la sensation qu'elle fait naître. La sensation immédiate que nous éprouvons nous apprend, conformément à l'expérience acquise, que nous sommes touchés par une ligne droite. Cette ligne passe à travers un certain nombre de champs tactiles dans chacun desquels une fibre nerveuse est excitée. Mais si dans les champs voisins de 1 et 2, et 2 et 3, etc., il se formait une sensation isolée, si nous séparions localement les points de 1 des points de 2, il en résulterait que la ligne entière nous paraîtrait composée de points. Mais, comme nous n'éprouvons pas la sensation d'un attouchement interrompu, il en résulte que nous ne pouvons pas distinguer entre eux les champs sensitifs voisins. On ne peut guère concevoir une séparation locale que quand il existe au moins *un* champ inexcité entre deux points excités : car c'est ce champ inexcité qui fait naître dans notre esprit l'idée de l'existence de deux excitations espacées entre elles.

Cependant un seul champ inexcité ne suffit point pour doubler la sensation de deux points excités. Les phénomènes tactiles s'expliquent en admettant avec Ernest Henri Weber qu'il faut l'interposition d'un certain nombre de champs tactiles entre les points excités pour produire la sensation d'un attouchement de deux points divers.

Toutes les *sensations* dont nous sommes capables ne deviennent des *perceptions* qu'au moyen d'opérations intellectuelles éveillées par l'excitation des sens.

Nous faisons souvent l'expérience que, dans certaines conditions, des impressions n'arrivent point à notre connaissance quoiqu'elles aient agi avec une force assez puissante sur nos nerfs sensitifs. Lorsque par exemple une personne se trouve engagée dans une conversation intéressante et qu'on lui pose la main sur l'épaule, il arrive fréquemment que cet attouchement, facilement perçu en d'autres circonstances, n'est point du tout senti ou plutôt qu'il ne produit point son effet habi-

tuel. On dit alors que l'attention était tellement attachée à la conversation qu'elle ne pouvait percevoir d'autres impressions : ou plus simplement qu'on était trop préoccupé par la conversation.

Cette expression est fondée sur une vue de l'esprit, très-juste et que l'on peut admettre en physiologie. L'attouchement de l'épaule a sans doute excité les nerfs de la peau dans le cas précité, et ceux-ci ont certainement transmis leur excitation à la moëlle et au cerveau et provoqué en eux la production de la sensation. Mais le cerveau ne se trouvait pas, en ce moment, à l'état particulier dans lequel les irritations apportées du dehors et les sensations produites sont amenées à la connaissance et font naître une perception. Le cerveau se trouvait au contraire en pleine action et les organes de la perception et de la volonté étaient occupés d'éveiller des idées, de les former et de les traduire, au moyen des nerfs moteurs et des muscles, en un langage compréhensible. Tels étaient certainement les phénomènes qui se passaient dans le cerveau et qui ont pour ainsi dire coupé le chemin à la sensation : ils ont amené ainsi un arrêt par lequel l'excitation a été anihilée sans produire son effet.

Nous n'évoquons ici ces considérations que pour montrer comment la perception d'une sensation est intimement liée aux phénomènes de la vie intellectuelle, puisque ces deux ordres d'action se passent également dans le cerveau. Ce que nous venons de faire remarquer pour le sens du toucher en particulier, peut s'étendre à tous les autres sens. Mais le sens du toucher est celui qui nous permet le mieux de prouver, par des expériences intéressantes, que toutes nos sensations ne se produisent jamais dans les organes mêmes, mais toujours dans le cerveau d'où les nerfs de la sensation tirent leur origine.

Ces réflexions éclairent plusieurs observations curieuses que l'on a faites en étudiant les champs tactiles. La grandeur de ces champs est en effet différente pour diverses personnes; bien plus, elle varie assez considérablement chez la même personne à des époques différentes. Mais il est en même temps très-inté-

ressant de constater que, par une éducation persévérante, l'écart nécessaire pour obtenir deux sensations diminue considérablement, surtout dans les régions cutanées qui ne sont pas de nature très-sensible et qui montrent des cercles sensibles étendus. Mais si cet exercice vient à cesser, la finesse du toucher diminue de nouveau. On remarque aussi avec intérêt que les aveugles, obligés qu'ils sont de remplacer le sens de la vue par celui du toucher, ont des cercles tactiles notablement plus étroits que les autres hommes et l'on ne peut douter qu'ils aient acquis cette particularité par l'exercice.

De tels faits prouvent avec évidence, que la propriété de la peau de distinguer l'écart entre deux points, est à vrai dire un attribut du cerveau. Par l'exercice, le cerveau parvient à distinguer entre eux deux points voisins de la peau, parce qu'il remarque qu'entre ces deux points il en existe encore un certain nombre d'autres qui ne sont pas excités. Plus la distance est grande, plus aussi l'existence des deux points devient évidente et il existe une limite où les points interposés ne sont plus assez nombreux, pour arriver à la perception. Mais par l'exercice cette limite peut encore être retrécie, c'est-à-dire qu'il faut alors moins de points intercalaires non irrités pour amener la perception de la double sensation. Comme pendant ce temps la distribution des nerfs de la peau est restée la même et que l'exercice n'est qu'une façon d'apprendre, nous apercevons clairement que nous avons affaire ici à des actions cérébrales et que les cercles de sensibilité n'existent en réalité pas dans la peau, mais dans le cerveau.

Une illusion très-intéressante du sens du toucher et que le lecteur connaît sans doute déjà comme jeu, nous fournit une preuve, tout aussi convaincante, de notre manière de voir. Lorsqu'on croise l'indicateur et le médius et que l'on palpe de ces deux doigts un pois couché sur la table, on est fermement convaincu que l'on touche deux pois. Et même quand on regarde et que l'on se convainc que l'on n'a affaire qu'à un seul pois, l'on a de la peine à combattre cette impression. L'illusion est surtout très-forte lorsque l'on fait rouler le pois entre les doigts.

Quelle est maintenant la cause de cette illusion ? Elle s'est évidemment produite parce que nous avons donné aux surfaces sensibles de la peau une position insolite. Si nous avions saisi le pois entre l'index et le médius dans leur position naturelle, nous saurions, par expérience, que nous n'avons affaire qu'à un seul pois. Mais, si nous croisons les doigts, l'expérience ne fait pas que nous abandonner, elle nous illusionne encore sur la sensation que nous éprouvons.


Fig. 6.

La cause de l'illusion est en effet une expérience déjà faite par le cerveau, qui s'est imprégnée en lui par l'exercice et qui nous induit en erreur dans un cas semblable. Lorsque nous croisons les doigts nous amenons au contact du pois les bords extérieurs des deux doigts. Mais dans les actions habituelles, ces deux bords sont, au contraire, détournés l'un de l'autre et lorsque dans cette position ces deux bords sont touchés en même temps, le cerveau sait, par expérience, que cet attouchement ne peut être produit que par deux corps différents.

Cette expérience devient une règle pour le cerveau dans toutes les circonstances et quelque position qu'on donne aux doigts. Si nous croisons les doigts et que nous touchions un globule, le sens tactile du cerveau croira que les doigts sont, malgré cela, dans leur position naturelle et nous transformons dans notre conception la position croisée en position naturelle. Ceci fait, notre conception doit aussi transformer en deux pois l'unique pois que nous touchons.

Nous voyons par cela comment l'image de notre corps est solidement imprimée dans le cerveau. Le cerveau connaît parfaitement la position naturelle de toutes les parties du corps et le lieu de chaque point sensible, et cette connaissance, il l'a acquise par de longues années d'observations et d'exercices. Il est en outre apte à estimer exactement le plus grand nombre des mouvements des diverses parties du corps. Lorsque nous

promenons notre main à la surface d'un objet, nous la mettons dans différentes situations relativement à notre corps et cependant nous nous faisons, en palpant ainsi, une image exacte de l'objet, puisque, par expérience, nous faisons intervenir la position de la main comme facteur de notre calcul. Nous ne pouvons nous faire une idée exacte des diverses positions et des divers mouvements du membre palpant, sans une expérience suffisante et des exercices répétés. Mais dès que nous mettons nos membres dans une position insolite, sur laquelle nous ne possédons point de notions acquises, l'appréciation exacte de nos sensations tactiles nous fait défaut et nous ne pouvons plus localiser avec certitude les objets palpés.

CHAPITRE TROISIÈME

SENS DE LA PRESSION. — SENS DE LA TEMPÉRATURE.

La peau ne possède pas seulement la propriété de sentir l'attouchement d'un corps, elle possède encore la propriété d'estimer la pression que cet attouchement produit.

Lorsque nous posons un poids sur la main librement étendue, nous sommes à même d'estimer la pesanteur de ce corps et nous avons l'habitude de le soulever et de l'abaisser plusieurs fois jusqu'à ce que son poids nous soit suffisamment connu.

Dans cette expérimentation notre jugement se fonde principalement sur l'effort que les muscles sont obligés d'exercer pour soulever le corps, et, comme nous avons une sensation distincte de cette action musculaire et que cette sensation augmente lorsque l'action des muscles s'accroît, nous sommes en état de distinguer entre eux des poids différents. Mais dans cette expérience le poids mis sur la main n'agit pas seulement par sa traction sur les muscles qui tentent de le soulever, mais il exerce encore une pression sur la peau, pression que nous sentons en même temps que l'effort musculaire. Nous éprouvons donc deux influences, qui agissent presque toujours simultanément lorsque nous soulevons un corps de quelque façon que ce soit : mais scientifiquement nous sommes obligés de séparer ces deux actions pour les étudier séparément. Lorsque notre bras, perpendiculairement étendu, soulève, au moyen d'un anneau, un poids situé à terre, ce poids agira par pression sur les points de la peau qui embrassent l'anneau, et, par

traction, sur les muscles qui se mettent en action pour le soulever. La traction sur les muscles sera toujours égale pour un même poids, mais l'effet de la pression sur la main qui soulève, pourra être très-varié selon la forme de l'anneau que nous saisissons. Si nous avons affaire à un anneau très-large, la pression exercée se partagera sur une grande surface de la paume et chaque point isolé de la main n'éprouvera qu'une pression modérée; si, au contraire, l'anneau est étroit, toute la pression se concentrera sur une petite région de la peau et nous y éprouverons une sensation de pression bien plus forte qui pourra aller jusqu'à la douleur.

Notre jugement sur la pesanteur d'un poids sera guidé par les deux sensations simultanées et l'on distingue scientifiquement deux aptitudes différentes qui correspondent à ces sensations. On désigne l'aptitude de sentir le degré de l'activité musculaire sous le nom de *sens musculaire* et l'aptitude d'estimer la valeur de la pression sur la peau, sous le nom de *sens de la pression.*

Dans la vie commune, le sens musculaire et le sens de la pression agissent presque toujours en même temps, lorsque nous soulevons un corps : de là vient que nous nous trompons souvent sur la pesanteur d'un corps en l'estimant d'après la pression qu'il exerce. Car lorsqu'un corps lourd pèse sur notre peau, par une arête étroite, il nous paraîtra presque toujours plus lourd que lorsqu'il la touche par une large surface : car dans le premier cas la pression exercée sur la peau sera plus forte. Il nous arrivera ainsi de porter souvent un jugement inexact sur son poids. Mais lorsque d'autres circonstances nous apprennent son poids réel, nous disons généralement que le corps n'est, en effet, pas très-lourd mais qu'il est incommode à porter.

Nous estimons cependant principalement le poids d'un corps au moyen du sens musculaire, et la pression n'est qu'une sensation secondaire qui n'influe pas beaucoup sur notre jugement. Ce fait ressort de quelques expériences très-ingénieuses d'Ernest-Henri Weber que nous allons relater. Cet observateur rechercha quelle est la plus petite différence de poids que

l'on peut distinguer, en soupesant avec la main, et il trouva que l'on peut à grand'peine distinguer 39 demi-onces de 40 demi-onces, mais qu'on ne peut plus distinguer 39 1/2 demi-onces de 40. Cette relation de 39 à 40 restait à peu près identique pour tous les poids, ainsi l'on peut distinguer entre eux des poids de 19 1/2 demi-onces et de 20, ou de 78 et de 80, etc.

Dans ces essais, le sens musculaire et le sens de la pression se combinaient et agissaient tous deux sur le jugement. Mais l'on peut faire des essais dans lesquels le sens de la pression est exclusivement actif et desquels le sens musculaire est complétement éliminé. Lorsque nous posons notre main à plat sur une table et que nous la chargeons de poids, nous pouvons ainsi juger de ce poids par la pression que nous éprouvons et sans que nous fassions le moindre effort musculaire. Nous pourrons donc reconnaître de cette façon des poids différents, mais il résulte de ce mode d'expérimentation, que cette distinction n'est plus aussi juste que lorsque nous soulevons le corps. Nous ne sommes plus capables de distinguer 39 demi-onces de 40 : à peine pouvons-nous distinguer 29 demi-onces de 30.

La nature nous a donc dotés de deux espèces d'instruments dont nous pouvons nous servir, pour ainsi dire, comme de balances pour apprécier le poids des autres. L'un de ces instruments, le sens musculaire, est la balance la plus sensible; l'autre, le sens de la pression, est beaucoup moins délicat. Dans la réalité nous nous servons des deux instruments pour apprécier le poids d'un corps.

Par des expériences suivies sur le sens de la pression, on a découvert encore une foule de faits intéressants. Lorsque l'on veut étudier quels sont les deux poids que l'on peut distinguer l'un de l'autre, la meilleure manière de procéder consiste à poser rapidement l'un après l'autre les deux poids sur la même région cutanée, par exemple, sur les doigts étendus sur une table. La distinction devient déjà plus difficile si nous plaçons simultanément les poids sur deux doigts différents : il semble donc que notre attention ne peut point se diriger, en même temps, sur deux régions cutanées. Mais même si nous

choisissons une seule région, notre jugement dépend du temps écoulé entre deux expériences. Weber a observé, qu'avec la plus grande attention, il pouvait distinguer 29 demi-onces de 30 demi-onces lorsque, entre les deux expériences, il ne s'était pas écoulé 10 secondes. Mais si l'intervalle devient plus long, les estimations commencent à devenir moins sûres et l'on ne peut plus différencier entre eux que des poids de différences plus grandes. Ainsi, après une demi-minute, Weber ne pouvait plus apprécier qu'une différence entre 4 et 5 demi-onces ou entre 24 et 30 demi-onces.

Ces essais présentent un intérêt particulier, parce que à la sensation vient se joindre une activité spéciale de l'entendement que nous désignons sous le nom de *Mémoire*. La sensation de la pression cesse en effet dès que le poids est enlevé, mais notre cerveau possède la propriété de retenir encore un certain temps l'impression perçue et lorsqu'une nouvelle pression succède rapidement à la première, nous sommes à même de comparer entre elles les deux sensations. Mais la sensation perçue s'amoindrit très-vite dans la mémoire, comme nous avons pu nous en assurer par les expériences précédentes; c'est pourquoi nous ne pouvons plus distinguer avec assurance les deux impressions successives, si le temps écoulé entre elles est trop long.

Weber a aussi étudié la finesse du sens de la pression sur différentes régions de la peau : et il a surtout recherché si la sensibilité à la pression présentait une relation avec la sensibilité tactile, c'est-à-dire si le sens de la pression et le sens tactile étaient également développés. Cette relation n'existe pas. Le sens de la pression à l'extrémité des doigts n'est pas beaucoup plus développé qu'à l'avant-bras, tandis que le sens tactile est neuf fois plus développé aux extrémités digitales. Certaines régions cutanées comme la peau du front et celle de l'abdomen ont le sens de la pression assez délicat, tandis que le sens localisateur y est peu développé et qu'à la région abdominale il est même obtus.

En palpant un corps nous ne sentons pas seulement sa forme et la pression produite par l'attouchement, mais nous percevons

encore son degré de chaleur. On dit ordinairement qu'un corps est froid, tiède ou chaud. Cette désignation est de nature purement subjective, car elle est guidée par l'impression que la température de l'objet produit sur notre corps et ne correspond par conséquent pas toujours avec les indications thermométriques. Nous appelons froid tout objet qui soustrait de la chaleur à la peau et chaud tout objet qui lui en communique, et comme la température de notre peau se trouve entre 30° et 36° C., le zéro de notre sensibilité à la température se trouve être assez élevé.

La physique n'admet point, comme l'on sait, l'idée de froid; elle n'a affaire qu'à la force unique, chaleur, que l'on considère comme produite par la vibration des atomes des corps. Le froid est une idée subjective et dépend complétement de la température de notre corps. Les animaux à sang froid ont certainement un tout autre critérium pour la sensibilité au froid que les animaux à sang chaud. La sensation de la chaleur dure aussi longtemps que de la chaleur est amenée sur une région de notre peau, mais dès que notre peau s'est mise en équilibre de température avec le corps qui la touche, la sensation de chaleur disparaît. Lorsque nous plongeons notre main, dont la peau est ordinairement un peu fraîche, dans un bain à 36° C., nous éprouvons une sensation de chaleur tant que la chaleur se communique à la main; mais plus cette main devient chaude et plus aussi la sensation de chaleur diminue. Lorsque nous plongeons alors la même main dans un bain à 30° C., ce bain nous paraîtra d'abord froid, quoiqu'il possède un certain degré de chaleur, parce que dans ce cas la chaleur suit une marche inverse, elle passe de la main; à l'eau. Mais si la main a été d'abord rafraîchie dans l'air, l'eau à 30° C. lui paraîtra agréablement chaude. Notre peau ne peut donc apprécier la chaleur que d'une manière relative, elle ne perçoit les degrés absolus de température que d'une façon très-imparfaite. Lorsque nous touchons un morceau de métal et un morceau de bois à la même température, le premier nous paraîtra, comme on sait, plus froid que le second, quoique le thermomètre indique la même température pour les deux corps. Mais

le métal est un bon conducteur de la chaleur et soustrait rapidement de la chaleur à la peau, tandis que le bois n'agit que très-lentement. La rapidité avec laquelle s'opère la déperdition de chaleur à notre peau a une grande influence sur la manière dont nous apprécions la sensation du froid.

Weber a soumis à une mensuration exacte la faculté que possède la peau de distinguer entre elles diverses températures. On plonge par exemple la main ou le doigt dans de l'eau à diverses températures et l'on apprécie quelles sont les différences que l'on est capable de remarquer. Weber a trouvé que l'on peut, au moyen du doigt, apprécier une différence de température de 1/5 de degré Réaumur, sensibilité très-grande et qu'on a peine à supposer, puisqu'elle est plus grande que celle de nos thermomètres ordinaires. Par contre notre appréciation des degrés absolus de température est très-vague, car il nous est impossible d'apprécier exactement la température d'une eau à 19 degrés, nous pouvons simplement dire que sa température est comprise entre 16 et 20 degrés. La finesse de la sensibilité pour des différences que nous percevons rapidement l'une après l'autre est à peu près égale pour toutes les températures au-dessous de celle de notre sang, mais elle n'existe pas, au même degré, à toutes les régions de la peau. Elle dépend d'abord de l'épaisseur de la peau, parce que la chaleur pénètre plus rapidement à travers une peau mince. C'est pour ce motif que le dos de la main est plus sensible à la chaleur que la paume et que les paupières, les lèvres et la langue sont encore plus sensibles. Le coude possède aussi une sensibilité très-grande à la chaleur, et les mères qui veulent baigner leurs enfants, savent très-bien s'en servir comme d'un thermomètre naturel, en le plongeant dans l'eau du bain. Cette sensibilité du coude peut très-bien s'expliquer par la minceur de la peau et par l'absence de graisse dans cette région.

Nous sommes obligés en outre d'admettre dans la peau des organes particuliers de température ; organes ayant leurs nerfs propres et qui sont plus développés dans certaines régions que dans d'autres. Il a été prouvé, en effet, que les troncs nerveux

ne possèdent point la faculté de produire la sensation de chaleur lorsqu'on les échauffe directement. On rencontre, par exemple, à la région du coude, immédiatement sous la peau et sur l'os, un nerf de la sensibilité qui occasionne de fortes douleurs lorsqu'il a reçu un choc. Lorsque l'on plonge le coude dans de l'eau chaude, on ne sent la chaleur que dans la partie immergée et non dans tout le bras, quoique ce nerf se distribue à l'avant-bras et à la main. Mais lorsque l'eau est trop chaude on éprouve une douleur obtuse dans toute l'étendue de l'avant-bras. Le tronc nerveux est donc excité par la chaleur de l'eau; toutefois, cette excitation ne se traduit pas par une sensation de chaleur mais par de la douleur. Lorsque l'on plonge le coude dans de l'eau glacée, la douleur est absolument la même, d'où il résulte que les troncs nerveux sont incapables de ressentir la chaleur ou le froid. La sensation de douleur qui se produit dans ces cas est probablement la cause de la sensibilité extraordinaire du coude à l'égard d'une chaleur trop forte et par conséquent nuisible.

On peut donc admettre que les nerfs possèdent, dans la peau, des organes spéciaux de température capables de produire, sous l'influence de la chaleur, une excitation nerveuse. Mais on n'a point encore découvert jusqu'ici des organes de ce genre ou plutôt on n'a point pu attribuer ces fonctions à des organes connus. Les corpuscules tactiles servent peut-être en même temps à la fonction du toucher et à la sensation de la chaleur, mais l'on ne peut rien dire de positif à cet égard. Weber a découvert un fait très-intéressant, à savoir, que les corps chauds paraissent plus légers que les corps froids. Lorsqu'on pose sur le front d'une personne qui a les yeux fermés une pièce de 5 francs froide, puis au même endroit deux pièces de 5 francs chaudes, les deux pièces chaudes paraîtront avoir le même poids que l'unique pièce froide, et cependant la personne pourra fort bien distinguer la différence entre le poids des corps froids. Il paraît donc qu'il existe une relation entre le sens de la température et le sens du tact; mais jusqu'ici cette relation n'a point encore été étudiée scientifiquement.

LIVRE II

LE SENS DE LA VUE

CHAPITRE PREMIER

STRUCTURE DE L'ŒIL. — RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE PAR UNE LENTILLE. MARCHE DES RAYONS LUMINEUX DANS L'ŒIL.

Nous ne pouvons, par le moyen du sens du toucher, acquérir des notions sur l'existence des corps qu'en mettant ceux-ci en contact direct avec la surface de notre peau, tandis qu'avec l'œil nous pouvons percevoir les corps à de grandes distances, par l'entremise d'une force que nous appelons la *lumière*. Il semblerait presque, que dans l'espace il n'existe point de limites à la propagation de cette force. Des sphères les plus éloignées de l'univers, dont nous ne pourrons jamais mesurer la distance, les astres nous envoient des rayons lumineux qui nous annoncent leur existence. Nous sommes même actuellement en état de connaître leur composition chimique au moyen de l'analyse spectrale. Tant qu'un rayon lumineux traverse l'espace et qu'il possède encore une certaine puissance, il est capable d'agir sur le sens de la vue et celui-ci nous découvre ainsi un monde de connaissances dont les limites s'étendent infiniment plus loin que celles qui bornent l'activité des autres sens.

La physique nous enseigne que la lumière est propagée par l'*éther*, substance d'une ténuité extraordinaire répandue dans tout l'univers, pénétrant tous les corps et existant même dans le vide. La lumière est produite par des vibrations extraordinairement rapides de cet éther. Ces vibrations, en pénétrant dans notre œil à travers ses parties transparentes, y produisent la sensation de lumière et, grâce à la structure merveilleuse de

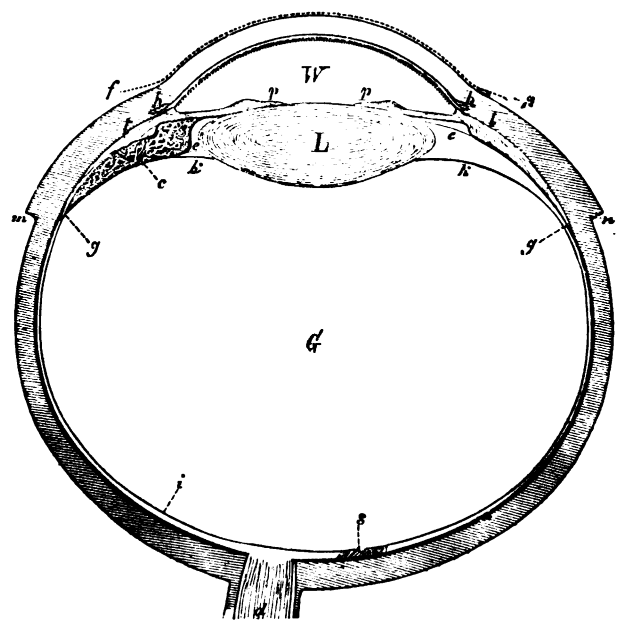


Fig. 7. — *m n*, cornée opaque. — *h h*, cornée transparente. — *g*, choroïde. — *p p*, iris. — *W*, humeur aqueuse. — *L*, cristallin. — *G*, humeur vitrée. — *i*, rétine. — *s*, tache jaune. — *d*, nerf optique. — *f*, muscle tenseur de la choroïde. — *c*, ligament ciliaire.

l'œil, nous ne sommes point seulement capables de sentir la lumière que les corps nous envoient, en tant que lumière, mais nous pouvons encore apprécier la forme, la grandeur et la structure de ces corps.

Mais tâchons, au préalable, de connaître les parties les plus importantes de l'œil.

La figure 7 nous représente une coupe transversale et horizontale de l'œil droit, d'après Helmholtz : cette figure va nous

permettre d'étudier les parties essentielles d'un organe que la nature a doué d'une structure si délicate. Nous voyons que le globe oculaire est entouré d'une membrane dense *m n* que l'on appelle la *cornée opaque*, et qui, sur l'homme vivant, est à découvert par sa partie antérieure et a reçu le nom de *blanc de l'œil*. Cette membrane est assez dense et assez solide pour protéger suffisamment l'œil contre les influences nuisibles de l'extérieur : elle n'est point transparente, mais seulement translucide à une lumière très-intense. A son bord antérieur, elle passe directement à la *cornée transparente h h* qui est presque aussi épaisse mais qui s'en distingue par une transparence vitrée parfaite. Cette membrane se bombe plus fortement en avant comme un verre de montre, et forme pour ainsi dire la couverture transparente de l'œil, à travers laquelle la lumière peut pénétrer.

Plus à l'intérieur et recouvrant la cornée opaque se trouve une membrane beaucoup plus mince, plus délicate et fortement colorée en noir *g*, qu'on a nommée la *choroïde*.

Sa couleur noire provient d'un nombre très-considérable de cellules pigmentaires situées, à la façon d'une mosaïque, sur sa face interne. Cette membrane se continue sans interruption avec l'*iris pp* qui est visible sur tout œil vivant et qui est percé à son centre d'une ouverture obscure, la *pupille*. C'est par cette ouverture que la lumière pénètre dans l'intérieur de l'œil et parvient jusqu'à sa paroi postérieure. La coloration noire de la choroïde est d'une utilité capitale pour la vision. Si elle n'existait point, la lumière qui tombe sur le fond de l'œil serait réfléchie, comme par toute surface claire; une immense quantité de rayons se disperserait irrégulièrement dans l'œil et produirait non-seulement de l'éblouissement mais aurait encore une influence extraordinairement préjudiciable pour la netteté des images.

L'iris est aussi enduit de ce pigment et prend une coloration plus ou moins foncée d'après l'abondance du pigment. Dans les yeux bleus l'iris ne présente qu'une couche mince de pigment à sa partie postérieure et paraît alors bleu par transpa-

rence. Plus la pigmentation est abondante, plus l'œil paraît foncé et c'est de cette façon que naissent les diverses nuances des yeux depuis le brun le plus foncé jusqu'au bleu ou au gris le plus clair. Dans toutes les races humaines il se trouve des individus qui manquent de pigment non-seulement aux yeux mais généralement à toutes les parties du corps, aux cheveux et à la peau : on appelle ces individus *Albinos* ou *Kakerlaks*. Ce manque de pigment occasionne un grand trouble dans la vision : l'iris paraît d'un blanc rougeâtre, la pupille est le plus souvent d'un rouge clair et l'effet éblouissant de la lumière du jour force les individus à rapprocher leurs paupières pour remplacer l'effet protecteur du pigment. On rencontre aussi fréquemment des albinos parmi les animaux, par exemple des lapins blancs avec les yeux desquels on peut entreprendre des expériences très-variées et très-intéressantes. L'on voit, par exemple, sur l'œil récemment extirpé de ces animaux une petite image renversée des objets peinte sur sa paroi postérieure; cette image apparaît très-claire à cause de la transparence des membranes, tandis qu'on ne peut l'apercevoir sur les yeux fortement colorés des autres animaux.

Plus intérieurement et tapissant la choroïde, on trouve une membrane délicate nommée *rétine*, *i*. Elle forme la continuation et l'expansion du nerf optique, qui, comme le pédicule d'une pomme, pénètre un peu obliquement à partir du nez, dans l'œil, traverse la cornée opaque et la choroïde et étale alors ses fibres dans tous les sens. Ces fibres présentent un mode de terminaison tout à fait spécial et forment une espèce de tapis nerveux qui constitue certainement l'organe des sens le plus délicat que la nature ait créé. La rétine touche par son bord antérieur à l'iris et est libre sur toute sa face antérieure, tournée contre les milieux transparents de l'œil, de sorte que les rayons lumineux qui pénètrent dans l'œil tombent ensuite sur cette membrane et y produisent une impression lumineuse. Mais avant d'y arriver les rayons lumineux traversent une série d'organes transparents situés dans la cavité du globe oculaire : ces organes sont artistement agencés comme dans un

tuyau de microscope ou de télescope, avec cette différence toutefois qu'ils sont contigus et qu'il n'y a pas, entre eux, la moindre trace d'air. L'enveloppe extérieure de ces corps transparents est formée par la cornée transparente dont nous avons déjà parlé, puis viennent, plus à l'intérieur, d'abord l'*humeur aqueuse W*, puis le *cristallin L*, enfin l'*humeur vitrée G*. L'humeur aqueuse remplit, comme on voit, l'espace compris entre la cornée opaque, l'iris et le cristallin. Immédiatement derrière l'iris, on rencontre le cristallin si connu pour sa forme qui le fait ressembler à une lentille très-épaisse. Il est plus convexe à sa face postérieure qu'à l'antérieure; dans l'œil frais et vivant il possède une transparence cristalline et est formé par une substance assez molle mais devenant plus dense à l'intérieur. On a reconnu que cette substance n'est pas tout à fait homogène mais qu'elle est formée de fibres fines, rangées en lignes courbes et qui donnent ordinairement au cristallin une apparence rayonnée, ordinairement à 6 rayons. Le cristallin n'est point libre derrière l'iris, il est au contraire contenu dans une capsule transparente qui elle-même est maintenue à ses bords par une membrane spéciale et tendue dont nous parlerons encore plus tard. Bornons-nous ici à dire que cette membrane se continue en arrière avec la membrane de l'humeur vitrée, qui s'applique immédiatement sur la rétine. La cavité sphérique située entre le cristallin et la rétine est remplie par l'humeur vitrée, substance transparente et de consistance gélatiniforme, enveloppée complétement par la membrane précitée.

Les rayons lumineux qui pénètrent dans l'œil traversent par conséquent la cornée transparente, l'humeur aqueuse, le cristallin, et l'humeur vitrée pour parvenir à la rétine. Sur ce trajet ils éprouvent dans les divers milieux de l'œil une réfraction telle qu'ils se réunissent pour former des images distinctes sur le fond de l'œil.

Tout le monde sait que l'on peut, au moyen d'une lentille, faire naître une image des objets sur un écran. Lorsque nous isolons, par exemple, la lentille antérieure et convexe d'une lu-

nette d'opéra, que nous la tenons dans une chambre vis-à-vis de la fenêtre et que nous plaçons derrière elle une feuille de papier en guise d'écran, nous voyons apparaître sur le papier une petite image renversée de la fenêtre, image qui, à une distance déterminée, sera claire et nette. On connaît aussi la chambre obscure qui, dans sa forme la plus simple, consiste en une boîte percée, sur une de ses faces, d'une ouverture portant une lentille convexe : la face opposée est formée d'un papier transparent ou d'un verre dépoli qui sert à recueillir l'image formée. L'œil ressemble complétement, pour ses effets, à la chambre obscure qui sert aux photographes, mais, comme nous le verrons plus tard, il est sous plusieurs rapports beaucoup plus parfait que cet instrument.

La figure 8 nous représente, par un dessin, de quelle manière une lentille convexe est capable de produire l'image d'un objet. La flèche AB représente un objet situé à quelque distance de la lentille. En F et F' se trouvent les foyers de la lentille dont on peut facilement trouver la distance, en cherchant sur un écran la place où se réunissent les rayons solaires réfractés, place qui est très-éclairée et chaude lorsqu'on se sert de grandes et puissantes lentilles. Tous les rayons parallèles qui tombent perpendiculairement sur une lentille vont se réunir au foyer et réciproquement les rayons partis du foyer et tombant sur une lentille en ressortent parallèles. Le point supérieur B de l'objet émet un grand nombre de rayons, mais l'un d'entre eux passe par le centre O de la lentille. Ce rayon ne subit pas de réfraction, car la lentille agit sur ce rayon comme une glace à faces parallèles. Un second rayon passe par le foyer F, traverse la lentille et en ressort en suivant une ligne parallèle à la ligne F'OF que l'on appelle l'axe optique. Les deux rayons se rencontrent en *b* et c'est en ce point que se forme l'image de la pointe de la flèche. D'après une construc-

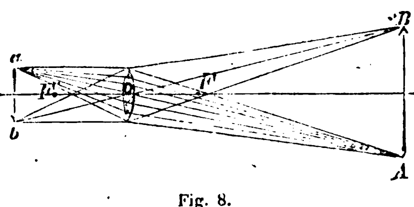


Fig. 8.

tion tout à fait semblable que l'on peut suivre sur la figure, on voit que l'image de la base de la flèche se formera en *a* ; il se produit ainsi une image renversée de l'objet, qui est d'autant plus petite que l'objet est plus éloigné et si celui-ci est à l'infini, comme le soleil par exemple, l'image se rapetissera en un point situé au foyer.

La figure 9 représente une chambre obscure dans la forme usitée par les photographes. La lentille se trouve dans le tuyau en laiton *hi*, *g* est le verre dépoli qui reçoit l'image : la boîte *ab* est formée de deux portions, qu'on peut faire glisser l'une dans l'autre, afin de pouvoir rechercher la place où se forme l'image d'objets situés à des distances variées. Le tube en laiton est en outre muni d'une vis qui permet de faire avancer ou reculer la lentille et d'obtenir ainsi une image bien nette. Nous verrons que l'œil présente aussi une disposition qui a pour but de rendre les images très-nettes, mais ce but est atteint d'une manière tout à fait différente.

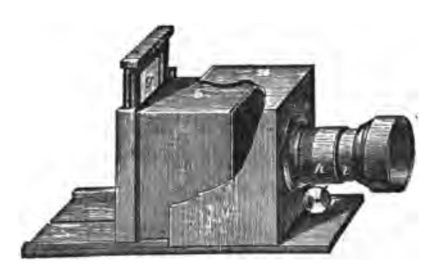


Fig. 9.

La réfraction de la lumière est beaucoup plus compliquée dans l'œil que dans une simple lentille convexe : car le rayon lumineux traverse dans l'œil des milieux divers et il se produit une réfraction à chaque face de contact de deux de ces substances. Mais l'effet total que produisent tous les milieux réfringents de l'œil est absolument égal à celui que produit une simple lentille convexe; il se forme sur la rétine une petite image renversée des objets extérieurs, que l'on peut facilement apercevoir par transparence, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, sur l'œil extirpé d'un lapin blanc. Ce sont surtout trois surfaces qui produisent ces réfractions, d'abord la surface externe de la cornée transparente, puis la surface antérieure du cristallin, enfin la surface postérieure du même organe. La réfraction la plus forte se fait à la superficie de l'œil, parce que

le rayon lumineux passe, à cet endroit, d'un milieu très-peu dense, l'air, en un milieu beaucoup plus dense, la cornée transparente et l'humeur aqueuse, qui possèdent toutes deux à peu près le même pouvoir réfringent. Le cristallin a une puissance réfringente plus grande que l'humeur aqueuse et que l'humeur vitrée, aussi rassemble-t-il plus les rayons lumineux qui ont pénétré dans l'œil. Son effet est encore augmenté par sa structure particulière, puisqu'il est composé de couches concentriques dont chacune est plus réfringente que celle qui la précède extérieurement. On a calculé que par ce mode de structure l'effet produit est plus considérable que si le cristallin était composé d'une substance également réfringente dans toute son étendue et qui possèderait le pouvoir réfringent du noyau central du cristallin.

On doit comprendre maintenant que la réfraction qui se fait dans l'œil est différente de celle qui se fait dans la chambre obscure. Dans ce dernier instrument il n'y a qu'un seul corps réfringent en contact des deux côtés avec de l'air. Dans l'œil, au contraire, le rayon lumineux passe de l'air dans un certain nombre de milieux réfringents, sans repasser par l'air, et l'image se forme au contraire à la limite postérieure du corps vitré, sur la rétine. La réfraction et la représentation graphique de la marche des rayons sont par conséquent beaucoup plus compliquées que pour une lentille en verre. On peut cependant poursuivre la marche des rayons d'une manière simple et assez approximative.

Le centre d'une lentille convexe (fig. 8), se distingue, comme nous l'avons vu, parce que tous les rayons qui y passent ne sont point réfractés. On appelle aussi, au point de vue optique, ce point *point nodal*, et dans une lentille dont les faces sont de courbure égale, ce point se confond avec le centre géométrique de la lentille. Il n'en est pas de même pour une lentille dont les faces présentent des courbures inégales, et les rapports se compliquent encore davantage dans un système de corps réfringents comme l'œil nous les présente. Le calcul mathématique, exécuté par Listing, a prouvé qu'il existe aussi pour

un tel système un point que les rayons traversent sans être sensiblement réfractés, et ce point que l'on appelle *point nodal de l'œil* se trouve à l'intérieur du cristallin, non pas au centre, mais entre celui-ci et la face postérieure. Si d'un point lumineux on trace un rayon jusqu'à ce point, ce rayon arrivera sans être réfracté jusqu'à la rétine : à vrai dire, il subit une réfraction mais tellement légère qu'on peut, en réalité, la négliger. Sur la figure 10, la lettre *K* désigne le point nodal de l'œil : soit *A B* un objet ; le rayon *A K a* arrivera à la rétine sans être réfracté, il en sera de même du rayon *B K b*. La grandeur de l'œil est pour ainsi dire calculée, par rapport aux milieux réfringents, pour que, dans le champ de la vision distincte, l'image se forme à peu près à la distance de la rétine : l'œil possède en outre la propriété de s'accommoder pour la vision à diverses distances. Lorsque l'œil s'est, par exemple, accommodé pour l'objet *A B*, tous les rayons venus du point *A*, se réuniront en *a* sur la rétine, ceux qui viennent de *B* se réuniront en *b* : et c'est ainsi que se forme, sur la rétine, une petite image renversée *a b*. On voit, sur la figure, que tous les rayons qui ne passent pas par le point nodal sont régulièrement réfractés de façon qu'ils se rencontrent sur la rétine pour former l'image [1].

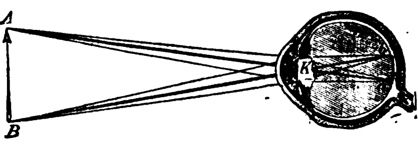


Fig. 10.

C'est de cette manière qu'il se produit sur la rétine des images de tous les objets. L'iris joue un grand rôle dans cette production, car son existence augmente la netteté de l'image. Elle sert, en effet, de diaphragme à l'œil en couvrant le bord du cristallin et en empêchant ainsi les rayons excentriques de pénétrer. Ces rayons, comme l'on sait, rendent les images confuses pour toutes les lentilles, parce que leur foyer n'est

1. Lorsqu'on veut représenter exactement la marche d'un rayon dans l'œil, il faut admettre deux points nodaux, démontrés par le calcul, tirer une ligne du point lumineux au premier point nodal, et une parallèle depuis le second point nodal jusqu'à la rétine. Ces deux points nodaux sont très-rapprochés et peuvent être confondus dans la pratique.

point tout à fait le même que celui des rayons centraux. On applique des diaphragmes semblables à tous les appareils optiques, télescopes, microscopes, chambre obscure, car, sans eux, les images n'ont point de bords nets. Mais l'iris est un diaphragme de nature si parfaite que l'art n'est point parvenu à l'imiter pour l'appliquer aux instruments. Il n'arrête point seulement les rayons excentriques mais il règle encore la quantité de lumière convenable et nécessaire à l'œil. Si nous dirigeons l'œil sur un objet éclairé, vers le ciel, par exemple, ou vers une lumière, la pupille se contracte; si nous regardons dans l'obscurité, la pupille se dilate au contraire très-fortement. On peut très-bien observer la contraction de la pupille en plaçant une personne devant une fenêtre éclairée, lui couvrant les yeux de la main et la retirant alors subitement. Les pupilles sont beaucoup plus dilatées dans le crépuscule que pendant le jour. C'est de cette façon que l'admission de la lumière est réglée, car plus la pupille est étroite et moins le nombre de rayons admis dans l'œil est grand, plus la pupille est large et plus les rayons admis sont nombreux. Les animaux nocturnes comme le hibou, le grand duc, etc., se distinguent par des pupilles très-larges qui les mettent à même de bien voir dans l'obscurité : ces animaux redoutent au contraire la clarté d jour parce qu'elle les éblouit.

Si nous reprenons encore une fois la comparaison de l'œil et de la chambre obscure, nous remarquerons une nouvelle supériorité de l'œil. Cette supériorité consiste dans la forme sphérique de la paroi postérieure de l'œil, tandis que dans la chambre obscure le verre dépoli qui reçoit l'image, est plan. L'œil reçoit, par cette disposition, deux perfectionnements essentiels qui frapperont facilement les personnes qui ont une fois vu une image dans la chambre obscure.

L'image d'un corps linéaire droit formée par une lentille biconvexe, n'est point tout à fait droite ; elle est un peu courbe et l'on peut assez exactement construire une image de ce genre, en traçant un arc du centre de la lentille avec un rayon égal à la distance de l'image. Si l'on se représente tout le champ de

vision d'un œil, l'image que formera la lentille ne sera pas située sur un plan derrière elle, mais elle se trouvera approximativement sur une surface sphérique dont le centre se trouve dans la lentille. De là résulte que l'image d'une chambre obscure ne présente pas, sur ses parties latérales, des lignes droites, mais des lignes plus ou moins courbes. On aperçoit très-clairement ce défaut sur des photographies représentant dans de grandes dimensions l'angle perpendiculaire d'une maison. Ce défaut n'est pas très-marqué lorsque l'image est située dans le voisinage de l'axe optique (FF'), mais dès que l'image s'éloigne de cet axe elle devient irrégulière et indistincte. C'est pour ce motif qu'il existe des limites pour la grandeur des images photographiques et l'on ne réussit jamais qu'à représenter une partie du champ de vision. Il en est tout autrement pour l'œil. Cet organe possède une paroi postérieure sphérique, sur laquelle se peint le champ de vision, de façon que la face sphérique de l'image correspond exactement à la face postérieure de l'œil. Ainsi le défaut de la chambre obscure est complétement évité dans l'œil; car l'œil peut admettre l'image d'un champ de vision plus étendu et dont les parties latérales sont nettes et non contournées. Si la rétine formait une paroi plane, comme le verre dépoli de la chambre obscure, elle devrait être beaucoup plus grande qu'elle ne l'est pour que nous puissions voir autant; et de plus, la partie centrale du champ de vision fournirait seule une image claire et nette.

CHAPITRE DEUXIÈME

ACCOMMODATION DE L'ŒIL. — MYOPIE ET PRESBYTIE.

Nous savons par expérience que nous sommes capables de voir distinctement des objets situés à diverses distances de notre œil. Mais lorsque nous considérons ce fait attentivement, nous nous apercevons bientôt qu'il est impossible que nous ayons en même temps une image nette de deux objets situés à des distances diverses. Plaçons-nous dans une chambre à une certaine distance de la fenêtre, fermons un œil, plaçons à quelques pouces de l'autre un doigt dressé et visons de façon à le voir distinctement; dès ce moment, l'image de la fenêtre nous paraîtra avoir des contours indistincts. Mais si nous portons notre attention sur la fenêtre pour en avoir une image nette, ce sont alors les contours du doigt qui deviennent indistincts : nous pouvons ainsi à volonté avoir alternativement une image nette du doigt ou de la fenêtre. L'œil s'arrange donc de manière à voir distinctement à différentes distances, et c'est cette propriété de l'œil que l'on désigne par le mot d'*accommodation*. Pendant que nous le laissons promener sur des objets éloignés ou rapprochés, l'œil, sans que nous en ayons conscience, est toujours en activité d'accommodation.

Sur la figure 8 la flèche AB forme son image en $a\ b$. Si l'objet AB s'éloigne, l'image $a\ b$ se rapprochera du foyer F' en

même temps qu'elle deviendra plus petite. L'endroit où se forme l'image varie donc avec la distance de l'objet. Lorsque, dans un appareil photographique, on veut mettre au point l'image d'un objet éloigné, il faut faire rentrer la partie postérieure de la boîte dans l'antérieure ; lorsque l'objet est rapproché, il faut, au contraire, la retirer plus. Au moyen de la vis *r* on peut, en outre, faire avancer ou reculer la lentille et obtenir ainsi une image encore plus nette. Cette accommodation, nécessaire pour une lentille, l'est aussi pour l'œil. Supposons que l'objet *AB* (fig. 10) produise une image nette en *a b*. Si l'on éloigne ou si l'on rapproche l'objet pendant que l'œil reste dans le même état, l'image deviendra nécessairement indis-

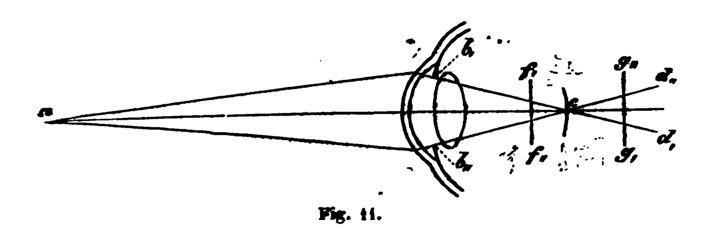


Fig. 11.

tincte, puisque dans le premier cas elle se fera devant la rétine et dans le second derrière la rétine. Supposons un point lumineux *a* (fig. 11) situé à une certaine distance de l'œil, ce point donnera une image nette lorsque le point de réunion des rayons *c* se trouvera sur la rétine : mais si la rétine était en g' g'' de façon que la réunion des rayons eût lieu au devant de cette membrane, il ne se formerait alors plus sur la rétine de point mais un cercle que l'on nomme cercle de dispersion. Il se produirait de même un cercle de dispersion si la rétine se trouvait en f' f'', par conséquent devant l'image, et si tous les points d'un corps se dessinaient sur la rétine par des cercles de dispersion les contours de ce corps deviendraient indistincts et noyés. Ces raisons nous expliquent maintenant l'expérience dont nous sommes partis. Si nous examinons successivement le doigt et la fenêtre, tous les points de la fenêtre formeront des cercles de dispersion lorsque nous regarderons

attentivement le doigt, et réciproquement le doigt paraîtra indistinct par des cercles de dispersion lorsque la fenêtre formera une image nette dans l'œil. L'image de l'objet que nous regardons attentivement se trouve toujours sur la rétine, tandis que l'image indistincte de l'autre objet se trouve dans le premier cas devant la rétine, et dans le second cas derrière elle. Il résulte de ces faits que l'œil possède un pouvoir d'accommodation qui lui permet de faire arriver nettement sur la rétine l'image des objets situés à des distances variées.

On pourrait supposer que la disposition de cette accommodation de l'œil fut analogue à celle de la chambre obscure. Autrefois on croyait à la possibilité d'un déplacement de la rétine en avant et en arrière, parce que l'on croyait que la pression des muscles de la cavité orbitaire allongeait le globe oculaire, et que par conséquent la paroi postérieure de l'œil se rapprochait ou s'éloignait. Mais cette hypothèse a été réfutée et l'on a prouvé que dans l'œil l'accommodation n'est nullement la même que dans la chambre obscure et que les moyens qui la produisent sont tellement parfaits qu'on ne peut les imiter artificiellement. Supposons que l'œil soit accommodé pour voir à une distance infinie un point à l'horizon ou au ciel. Les rayons qui partent de ce point arrivent presque parallèles dans l'œil, leur réunion se fait donc au foyer de l'œil, foyer qui dans un œil normal se trouve juste au centre de la rétine. Si le point regardé s'avance vers l'œil, l'image, d'après les lois de l'optique, se fera derrière le foyer et par conséquent derrière la rétine. Mais, par l'accommodation, l'œil peut de nouveau faire tomber l'image sur la rétine, d'où il résulte que dans ce cas, es rayons incidents seront plus rapprochés, c'est-à-dire plus réfractés, pour qu'ils puissent se rencontrer plutôt que lorsque la réfraction est moindre et former ainsi une image nette sur la rétine.

Quelle est la cause de cette réfraction plus forte des rayons lumineux quand l'œil regarde un objet de près? On a observé directement sur l'œil, *que lorsqu'il passe de l'accommodation lointaine à l'accommodation rapprochée, le cristal-*

lin devient plus épais parce que sa face antérieure devient plus convexe. Sur la figure 12 nous voyons le changement que la lentille éprouve en s'accommodant pour la vue rapprochée : cette figure est empruntée à Helmholtz. La moitié gauche de la figure représente le cristallin accommodé pour le lointain, la moitié droite représente l'accommodation pour les objets rapprochés. Dans cette dernière circonstance la face antérieure du cristallin devient plus convexe et est projetée en avant, de sorte qu'elle entraîne l'iris et le rapproche de la cor-

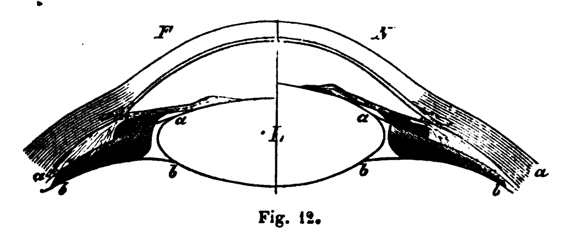


Fig. 12.

née. On peut facilement remarquer cette avancée de la pupille lorsqu'on considère de côté l'œil d'une personne qui laisse promener son regard d'un objet lointain à un objet rapproché.

Mais la réfraction plus forte des rayons lumineux s'explique-t-elle par le mouvement du cristallin que nous venons de décrire ? Sans doute ! D'après les lois de l'optique une lentille convexe réfracte d'autant plus la lumière que ses faces sont plus courbées. De deux lentilles de grandeur égale, mais l'une aplatie et mince, l'autre au contraire très-bombée et épaisse, la première présentera un foyer éloigné, la seconde au contraire un foyer rapproché, c'est-à-dire qu'elle fera subir à la lumière une réfraction plus forte. La même chose arrive pour le cristallin pendant l'accommodation. Lorsque nous regardons un objet rapproché, le cristallin se bombe plus que lorsque nous regardons dans le lointain, et son pouvoir réfringent augmente, de manière à faire tomber l'image sur la rétine. Il est évident que cette courbure sera différente selon la distance à laquelle sont situés les objets que l'œil examine, et elle sera, évidemment, d'autant plus forte que l'objet se rapprochera davantage. Ces modifications se produisent avec la même rapidité,

que notre regard se porte d'un objet à l'autre, et l'expérience nous les a rendues tellement familières que nous ne manquons jamais de faire naître une image nette sur la rétine.

Mais, demanderons-nous, par quel mécanisme se produit ce changement dans la forme du cristallin ? Il se produit par un muscle que nous voyons représenté sur la fig. 7 (p. 44). Il se trouve en *f* à l'endroit où la choroïde passe à l'iris. Il ne s'insère pas directement, par ses fibres, sur le cristallin, mais il a une structure un peu compliquée et son effet sur l'accommodation est resté, pour cela, très-longtemps obscur. Helmholtz a expliqué ses effets de la manière suivante. Le cristallin est attaché par son bord (fig. 7) à un ligament, le *ligament ciliaire*, qui se dirige, en rayonnant, vers l'extérieur et qui maintient le cristallin raidement tendu (indiqué dans la figure par la lettre *e*). Les fibres du muscle d'accommodation [1] s'insèrent à la place où ce ligament se relie, extérieurement, aux membranes de l'œil. Dans la vision lointaine ce muscle est relâché ; le ligament ciliaire, par sa tension élastique, élargit la lentille dans le sens radial vers le bord, il en résulte que l'épaisseur de la lentille doit diminuer et que sa courbure doit s'aplatir. Dans l'accommodation pour la proximité, le ligament ciliaire est tiré par le même muscle en dedans vers le bord du cristallin, sa tension diminuera par conséquent, et le cristallin, rétréci par son élasticité, deviendra plus épais et plus convexe sur sa face antérieure. La vue lointaine n'est donc point accompagnée d'un effort musculaire et les tensions élastiques du cristallin et du ligament ciliaire se feront simplement équilibre. Mais pour la vision rapprochée, il se fait un effort musculaire dans l'œil, et c'est pour ce motif que la vision des objets rapprochés devient fatigante pour lui, tandis qu'il se repose dans la vision lointaine.

Nous n'avons point encore expliqué de quelle façon on s'est aperçu de l'épaississement du cristallin pendant la vision rapprochée. L'avancée de l'iris qui en est dépendante est, sans doute, très-facile à voir et l'on s'aperçoit en même temps que

1. *Muscle tenseur de la choroïde*, parce qu'il tire le bord de la choroïde en dehors.

la pupille se contracte. Mais ces deux observations ne prouvent point rigoureusement l'augmentation de la convexité antérieure du cristallin. Ce phénoméne est, au contraire, parfaitement démontré par l'examen des images réfléchies que l'œil présente à notre examen.

Tout le monde connaît les petites images réfléchies que nous présentent les yeux. Ces images, si faciles à observer, se forment à la face antérieure de la cornée transparente, et se présentent sous forme de petites images droites un peu irrégulières comme celles que l'on voit sur les sphères miroitantes si souvent exposées dans les jardins. Nous avons donc affaire aux effets des miroirs convexes. Une observation plus attentive nous fait voir encore des images réfléchies par la face anté-

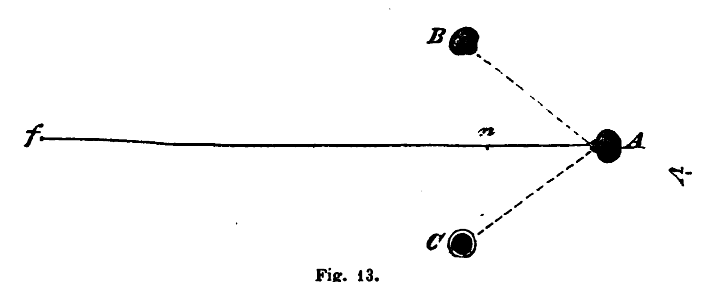


Fig. 13.

rieure et par la face postérieure du cristallin, images qui sont, il est vrai, beaucoup plus faibles que celles de la cornée. Pour les observer il faut faire l'expérience dans une chambre très-obscure. On place une bougie allumée, *c*, à côté de l'œil en observation A. L'œil de l'observateur se trouve en *B* et l'œil A regarde dans la direction *f*. *B* remarque alors trois images réfléchies sur A, comme on les voit représentées sur la figure 14. Sur le fond obscur de la pupille on remarque avant tout l'image très-claire de la cornée *a*; puis une autre image également droite, *b*, beaucoup plus grande, mais moins éclairée, qui se forme sur la face antérieure du cristallin; enfin une troisième image beaucoup plus petite mais renversée et plus nette, *c*, formée à la face postérieure du cristallin. Cette dernière est renversée parce qu'elle est produite par un miroir concave

tandis que les premières sont produites par des miroirs convexes.

On observe en outre un changement remarquable dans la forme de l'image *b* de la face antérieure du cristallin, lorsque le regard de la personne observée vise un objet lointain ou des objets rapprochés et réciproquement. Lorsque l'œil s'accommode pour les objets rapprochés, l'image devient plus petite et plus nette; elle devient, au contraire, plus grande et moins nette lorsque l'œil s'accommode pour le lointain. Il résulte de ces faits que, d'après les lois de l'optique, la courbure de la face antérieure du cristallin a dû devenir plus forte par l'accommodation pour la proximité, car, plus la courbure d'un miroir convexe est forte, plus l'image qu'il réfléchit est petite. Les deux autres images *a* et *c* n'éprouvent point de changements et l'on peut en conclure que la cornée transparente et la face postérieure du cristallin ont conservé leur courbure.



Fig. 14.

Lorsque nous rapprochons un objet de notre œil et que nous nous efforçons de le voir distinctement, comme par exemple les lettres quand nous lisons, nous remarquons qu'il existe une limite en deçà de laquelle il ne nous est plus possible de voir distinctement, quelques efforts que nous fassions pour y parvenir. On appelle cette limite le *point le plus rapproché de la vision distincte* (*punctum proximum*) qui se trouve à la distance de 4-5 pouces (12 à 15 centimètres) environ de l'œil. On peut arriver à connaître exactement pour chaque œil la distance de ce point au moyen d'une expérience très-intéressante, l'expérience de Scheiner.

Prenons une carte à jouer et faisons-y, au moyen d'une aiguille, deux trous très-fins distants entre eux d'environ deux millimètres. On place ces trous très-près de l'œil et l'aiguille derrière les trous. L'aiguille est-elle très-rapprochée de la carte, on en verra deux images et si on l'éloigne lentement il arrivera un point où les deux images se confondront en une seule, et ce point est le punctum proximum.

Ce phénomène s'explique facilement au vu de la figure 15. L'œil y est remplacé par la lentille *b*, devant laquelle se trouve un écran percé des deux trous *e* et *f*. Le point lumineux a envoie deux faisceaux de rayons à travers ces ouvertures sur la lentille qui les réunit, en *c*, en une image : le second écran *n n* représente la rétine. Mais si la rétine se trouve en *m m*, il se forme deux images du point *a* en *p* et *q*, images qui sont moins distinctes que l'image *c*. C'est ce qui arrive dans l'expérience précédente lorsque l'aiguille est trop rapprochée de la carte et que les faisceaux lumineux n'ont pu encore se réunir sur la rétine. L'œil ne peut point alors, malgré les plus grands

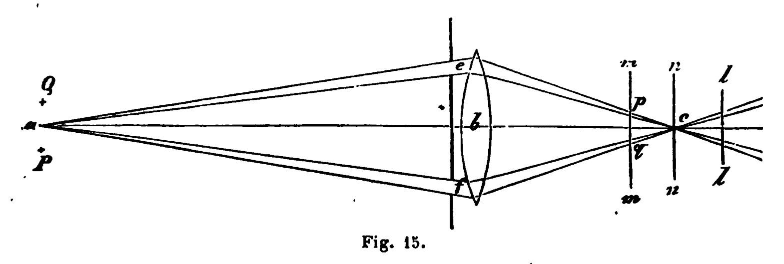


Fig. 15.

efforts, augmenter la convexité du cristallin de façon à accommoder l'œil pour la vision distincte de l'aiguille. Il est encore très-intéressant d'observer que lorsqu'on voit deux images *p* et *q*, l'image *Q* formée par les rayons arrivés par l'ouverture d'en bas *f* se trouve placée en haut, tandis que l'image *p* est au contraire située en bas à peu près en *P*. La raison de cette disposition des images est toute simple. L'image formée sur la rétine est, comme nous le savons, renversée. Par conséquent tout ce qui se peint au bas de la rétine se trouve en réalité en haut dans le champ visuel, tout ce qui se trouve à gauche de la rétine est en réalité à droite. Aussi transportons-nous dans notre entendement la petite image *q* en haut, en *Q*, et la petite image *p* en bas, en *P*.

Pour que cette expérience réussisse il faut observer que les deux ouvertures de la carte ne soient pas à une distance plus grande que le diamètre de l'ouverture pupillaire, car sans cela les deux faisceaux lumineux ne pourraient point pénétrer en

même temps dans l'œil. C'est sur ce principe que l'on a construit l'*optomètre*, instrument composé de deux tubes rentrants, comme le télescope, et dont le tirage permet de trouver exactement le punctum proximum.

Il existe encore, pour la plupart des yeux, dans l'accommodation lointaine, une limite à laquelle la vision distincte cesse. Les yeux bien constitués et perçants voient sans doute très-nettement les contours des objets situés à une distance infinie jusqu'à l'horizon; ils peuvent donc s'accommoder pour les plus grandes distances. Beaucoup d'yeux, au contraire, ne le peuvent pas, c'est-à-dire qu'ils sont plus ou moins *myopes*, et, pour eux, il existe une limite où la vision distincte cesse. On appelle cette limite le point le plus éloigné de la vision distincte (*punctum remotum*).

L'œil à vision normale a son punctum remotum à l'infini. Lorsque des rayons parallèles partis d'un point lumineux situé à l'infini, d'une étoile, par exemple, pénètrent dans l'œil, ils se réunissent au foyer et dans tout œil normal ce foyer doit se trouver sur la rétine. Mais on remarque que cette structure idéale est rarement réalisée, et l'on peut s'en convaincre facilement en remarquant que les hommes se représentent les étoiles rayonnantes, tandis qu'elles ne sont que des points lumineux. Dans l'œil myope le foyer se trouve plus ou moins en avant de la rétine, dans le corps vitré, et ceci est le résultat d'une trop grande longueur du diamètre antéro-postérieur de l'œil par rapport au pouvoir réfringent des milieux transparents et en particulier du cristallin. Lorsqu'on rapproche d'un œil ainsi constitué un point lumineux situé à une grande distance, l'image produite d'abord au foyer se rapproche peu à peu de la rétine, d'après les lois de l'optique, mais elle ne l'atteint que dans une certaine limite de rapprochement. Pour des yeux très-myopes cette distance est, on le sait, très-petite, car les personnes ne sont alors pas même capables d'avoir une image nette des objets situés dans l'enceinte d'une chambre. Le punctum remotum de ces yeux est alors ce point dont l'image touche exactement la rétine et tous les points plus

éloignés produisent nécessairement des cercles de dispersion.

Les myopes se servent de lunettes à verres concaves pour voir distinctement les objets éloignés. Ces verres ont la propriété de faire diverger les rayons lumineux, en sorte que les rayons convergents qui les traversent se réunissent à une distance plus grande pour former une image. La figure 16 montre que les rayons convergents qui se réuniraient en *B* sont rejetés par un verre concave jusqu'au point *A*. Supposons que dans un œil myope l'image d'un point lumineux se fasse en *B*, mais que la rétine soit située derrière ce point en *A*, le port de lunettes concaves pourra ramener l'image sur la rétine. Plus la vue est myope, plus aussi les verres de lunettes devront être concaves, parce qu'il est nécessaire qu'ils fassent diverger plus fortement les rayons pour faire tomber l'image sur la rétine.

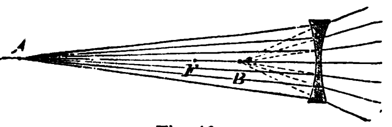


Fig. 16.

Un autre défaut fréquent des yeux, c'est la *presbytie*. Cet état est l'opposé du précédent et consiste en ce que le foyer de l'œil se trouve derrière la rétine. Lorsque des rayons parallèles, par exemple ceux qui proviennent d'une étoile, arrivent dans l'œil, ils se réunissent seulement derrière la rétine : mais le plus souvent ces yeux peuvent s'accommoder à cette distance et réussissent à faire coïncider l'image avec la rétine. Mais ces yeux n'y voient point de près, parce que l'accommodation est insuffisante pour ramener l'image sur la rétine : le punctum proximum est donc assez éloigné de l'œil. Le presbyte se servira donc, pour voir distinctement les objets rapprochés, de lunettes à verres convexes, car les verres convexes font converger les rayons, les forcent à se réunir plus tôt et font naître par conséquent l'image plus en avant. Lorsqu'un presbyte veut lire, il sera obligé de mettre ses lunettes ou bien il éloignera le livre afin d'atteindre la limite la plus rapprochée de la vision distincte, tandis qu'un myope lira bien sans lunettes lorsqu'il rapprochera le plus possible le livre de ses yeux. Les myopes distinguent même mieux que les individus

à vue normale les objets qu'ils rapprochent de leurs yeux, parce que leur punctum proximum est plus près de l'œil et parce que la grandeur apparente des objets augmente par le rapprochement.

Un autre défaut moins remarquable de l'œil, peu marqué dans un œil normal, mais plus marqué dans certains états

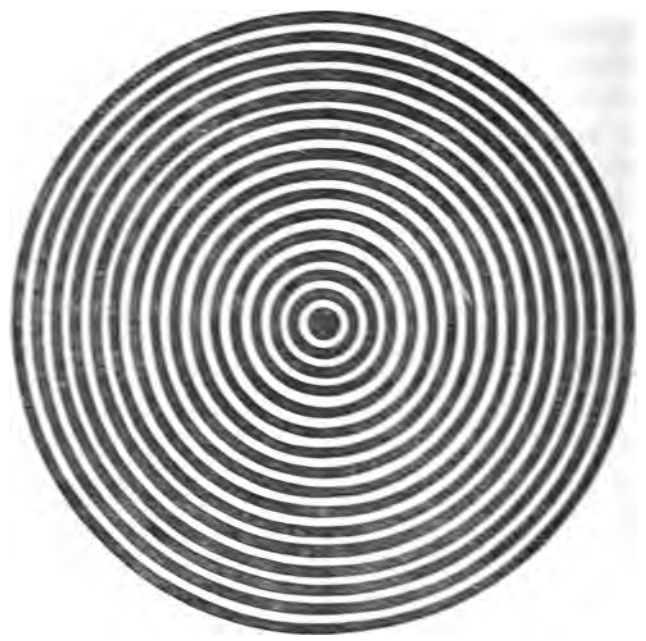


Fig. 17.

morbides, consiste en ce que cet organe n'a point une structure symétrique autour de son axe antéro-postérieur. Si nous regardons attentivement d'un seul œil les cercles concentriques marqués sur la figure 17, toutes les lignes ne nous paraîtront point nettes à la fois; nous verrons, au contraire, distinctement et nettement deux secteurs opposés, mais dont la place varie selon l'accommodation de notre œil. Ceci provient de ce que la courbure des surfaces refringentes n'est point tout à fait égale dans le sens horizontal et dans le sens vertical. Par

conséquent les rayons situés dans un plan vertical n'ont pas le même foyer que les rayons situés dans un plan horizontal. Lorsque nous accommodons, par exemple, notre œil pour les lignes horizontales, nous ne verrons pas distinctement les lignes verticales et réciproquement. C'est ce qui se fait dans la figure des cercles concentriques où la direction verticale et horizontale des lignes passe insensiblement de l'une à l'autre.

Nous voulons encore signaler une circonstance qui joue un certain rôle dans la réfraction de l'œil. On sait que les mauvais instruments d'optique, lunettes d'opéra ou lunettes d'approche, montrent les objets avec des contours colorés. Pour éviter ce défaut on emploie des verres achromatiques, c'est-à-dire des lentilles composées de telle façon que la décomposition de la lumière par réfraction soit annulée. Toute lentille simple donne des images à bords colorés, parce que les foyers des différents rayons colorés dont se compose la lumière blanche ne coïncident point, et que la réfraction des couleurs du spectre augmente du rouge au bleu. C'est pour cela qu'on ne voit pas également bien les limites d'une ligne rouge et d'une ligne bleue rapprochées, car si l'on accommode l'œil pour le rouge, le bleu aura son foyer devant la rétine, et si l'on accommode pour le bleu, le rouge aura son foyer derrière cette membrane. Mais l'œil n'est point un instrument parfaitement achromatique, quoique les bords colorés des objets disparaissent dans la vision ordinaire. Qu'on examine le bord aigu d'un objet foncé, lorsqu'il a derrière lui un fond clair (par exemple, la traverse horizontale d'une fenêtre sur un ciel couvert de nuages blancs); le bord supérieur nous paraîtra jaunâtre et le bord inférieur nous paraîtra coloré en bleu, surtout lorsque l'œil ne sera pas exactement accommodé pour le voir. Les rayons lumineux apparaissent dans ce cas, comme dans les instruments d'optique, parce que leurs cercles de dispersion ne se recouvrent plus par les bords, tandis qu'à l'intérieur d'une surface blanche ces cercles se recouvrent et reproduisent ainsi de la lumière blanche. Par une accommodation incomplète, il se produit au bord des surfaces claires sur fond obscur, des cercles

de dispersion qui font paraître les surfaces claires plus grandes. On appelle ce phénomène l'*irradiation*. Examinons, par exemple, sur la figure 18 les deux carrés égaux, l'un noir sur fond blanc, l'autre blanc sur fond noir : ce dernier paraîtra, à une certaine distance de l'œil, beaucoup plus grand que le premier.

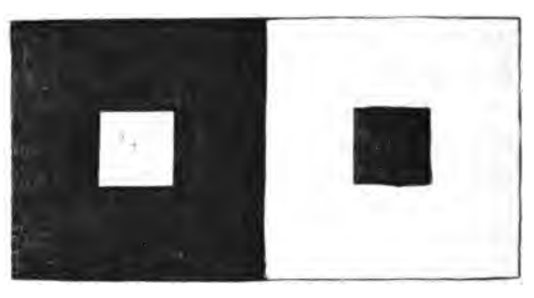


Fig. 18.

Sur la figure 19 les deux carrés blancs, vus de loin, paraîtront se réunir ou plutôt être joints par une espèce de pont blanc, car les cercles de dispersion vont se rejoindre à cette place. Tout le monde sait que les personnes habillées de blanc

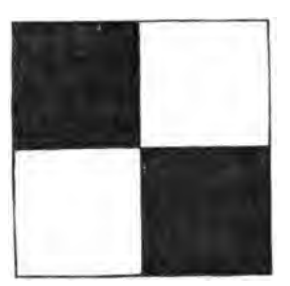


Fig. 19.

paraissent plus replètes que lorsqu'elles sont habillées de noir, ce qui s'explique aussi par les effets de l'irradiation. Cette particularité n'est point inconnue dans l'art de la toilette et l'on en tient grand compte. Les dames savent très-bien qu'un habillement noir les fait paraître plus sveltes.

CHAPITRE TROISIÈME

PERCEPTION DE PARTIES INTERNES DE L'ŒIL. — L'OPHTHALMOSCOPE.

La rétine forme la limite où les phénomènes physiques de la vision font place aux phénomènes physiologiques. La lumière qui pénètre dans l'œil ne subit que des modifications physiques consistant principalement dans la réfraction, et le dernier résultat visible de ces modifications consiste dans la formation de la petite image sur la rétine. Mais à partir de là les phénomènes se soustraient à notre observation directe et il devient de plus en plus difficile d'en pénétrer l'essence.

L'image rétinienne est renversée et cependant nous voyons tous les objets droits. Ce redressement est le résultat de l'expérience que nous avons acquise, à partir de notre enfance, dans la vision. Le point *A* (fig. 10), situé à droite, fait son image en a sur la portion gauche de la rétine : nous savons par conséquent que suivant notre expérience, un rayon parti de droite produit nécessairement son image sur la partie gauche de la rétine, et puisque nous projetons dans le monde extérieur tout ce que nous voyons, nous faisons involontairement passer le rayon visuel *a A* par le point nodal *k*. De cette façon, l'œil projette au dehors un champ visuel plan, que nous obtenons en tirant de chaque point de la rétine vers l'extérieur, des lignes droites qui se termineraient sur une surface sphérique.

C'est en réalité de cette façon, que l'œil comprend toutes ses sensations. Car il y a des phénomènes où nous ne percevons point d'objets extérieurs mais des parties de l'œil lui-même ou des excitations internes, et cependant ces perceptions sont projetées par les mêmes voies dans le monde extérieur.

Lorsque nous fermons l'œil et qu'avec la tête d'une épingle nous pressons un peu le globe oculaire sur son bord externe, nous apercevons, dans un champ obscur, un petit cercle clair ou un peu coloré, l'*image de pression*, et cette image se forme au bord gauche, si nous pressons à droite; en haut, si nous pressons en bas et réciproquement. La rétine se prolonge en effet jusqu'au segment de l'œil saillant hors de l'orbite et elle est irritable par pression. On sait que l'on voit des étincelles lorsqu'on reçoit un coup sur l'œil; ce phénomène lumineux est produit par un ébranlement mécanique de la rétine. L'image produite par la pression n'est qu'une transformation scientifique de cet accident qui nous arrive parfois involontairement, et nous pouvons observer sur elle quelle est la relation entre le lieu excité et le lieu où se produit la sensation lumineuse. Nous transférons un point du bord gauche de la rétine à la droite de notre champ visuel, parce que nous nous imaginons qu'un rayon lumineux venu de droite a pénétré dans notre œil et a, par conséquent, touché la rétine à gauche.

Nous apercevons aussi quelquefois dans l'intérieur de l'œil de petits corpuscules qui se trouvent dans les milieux transparents. Beaucoup de personnes remarquent, même dans la vision ordinaire, de petits corpuscules ronds ou de petits filaments qui semblent nager dans le champ visuel et que l'on a nommé « *mouches volantes*. » On les aperçoit plus distinctement lorsqu'on regarde une surface éclairée comme le ciel, ou que l'on fait des observations microscopiques. Elles changent de place quand l'œil se meut, mais elles ont aussi des mouvements propres. Les corpuscules consistent en filaments ou en cellules, situés entre la membrane du corps vitré et la rétine et qui nagent dans cet espace rétréci. Ils jettent leur ombre di-

rectement sur la rétine et celle-ci, par accoutumance, projette la sensation au dehors.

On peut aussi démontrer par des expériences précises, que les milieux réfringents de l'œil ne sont pas absolument transparents, et qu'ils renferment des parties ternes, qui jettent leur ombre sur la rétine. Lorsque l'on regarde le ciel à travers un trou étroit percé dans une carte, on aperçoit un petit cercle de dispersion, qui n'est point uniforme dans toute son étendue mais qui présente des taches et des stries. Ces taches sont dues en partie à des particules ternes contenues dans le corps vitré, en partie à la structure rayonnée du cristallin dont nous avons déjà parlé précédemment. Tous ces phénomènes sont appelés *entoptiques*, parce qu'il s'agit dans ces cas de la perception de parties internes de l'œil. Ils se produisent parce que la lumière projette l'ombre de ces objets sur la rétine. C'est pour cette raison qu'on les aperçoit mieux quand un faisceau de lumière isolé, passant par une ouverture étroite, tombe dans l'œil, parce que les ombres sont alors nettes, tandis que dans la vision ordinaire elle sont effacées, parce que la lumière pénètre de tous côtés dans l'œil.

Une des plus intéressantes apparitions entoptiques est celle de la *figure vasculaire* découverte par Purkinje. Qu'on se place le soir dans une chambre obscure vis-à-vis d'un mur foncé, qu'on fasse mouvoir çà et là avec la main sur les côtés de l'œil une bougie allumée et qu'on regarde perpendiculairement la muraille. Après un peu d'exercice on verra apparaître un réseau vasculaire, ramifié comme un arbre, et qui provient, sans aucun doute, des vaisseaux internes de l'œil. Le champ visuel prend une teinte rougeâtre sur laquelle les vaisseaux apparaissent distinctement comme des ombres plus foncées. Le tronc des vaisseaux apparaît sur le côté interne du centre, à la place où le nerf optique pénètre dans l'œil, et se ramifie à partir de là à la façon des vaisseaux sanguins : il résulte de là que nous percevons véritablement dans cette expérience les vaisseaux sanguins de la rétine elle-même. Une seule place est exempte de vaisseaux, c'est le centre de la rétine, à la place où

notre vision est le plus distincte. Lorsqu'on fait changer la lumière de place, l'arbre vasculaire se déplace aussi et dans la même direction que la flamme.

Toutes les observations que nous pouvons faire dans cette expérience nous donnent la conviction que nous percevons de cette façon l'ombre des vaisseaux de la rétine. Il est évident en effet que ces vaisseaux donnent une ombre, mais puisque cette ombre arrive à perception il faut en conclure que les éléments sensibles de la rétine sont situés derrière les vaisseaux.

La figure 20 nous expliquera, par le dessin, de quelle manière cette ombre apparaît. Si la flamme de la bougie se trouve en *a*, son image se formera en *b* sur la rétine. Ce n'est point à cette place qu'apparaîtront les vaisseaux, parce que la clarté y est trop vive. Mais l'image rétinienne *b* servira elle-même de source lumineuse et si vis-à-vis d'elle se trouve un vaisseau, en *v* par exemple, ce vaisseau produira une ombre en *c*. Ce que la rétine perçoit en *c*, elle le rejette par le point nodal *k* au dehors, au point *d*, où le vaisseau apparaît dans le champ visuel. Lorsqu'on fait mouvoir la flamme de *a* et *a'*, l'image se dirigera de *b* en *b'*, l'ombre ira de *c* en *c'* et l'image de l'ombre de *d* en *d'* : le mouvement de cette image se fera donc dans le même sens que le mouvement de la bougie. — Mais pourquoi ne voyons-nous pas les vaisseaux de la rétine, dans la vision ordinaire ? Parce que, dans ce cas, il ne se forme point une ombre nette de ces vaisseaux, la lumière arrivant de tous les points de la pupille sur la rétine. Dans l'expérience précitée la lumière part d'un point unique *b* et produit par conséquent des ombres distinctes. En outre l'éclairage part d'un point insolite et fait tomber l'ombre sur des places qui n'y sont point habituées. Ce fait semble aussi avoir son importance, car en maintenant la lumière immobile, la figure pâlit, puisque les points de la rétine qui perçoivent l'ombre émoussent leur sensibilité,

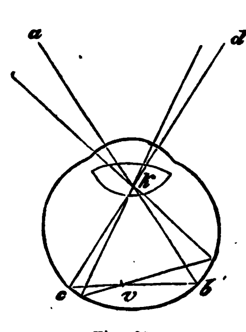


Fig. 20.

mais elle apparaît de nouveau dès qu'on remue la flamme et que les places, où l'ombre se projette, varient.

Notre œil reçoit à travers la pupille une masse assez considérable de lumière qui suffit pour nous faire voir tout le monde extérieur, mais aucune portion de cette lumière ne paraît être renvoyée au dehors. La pupille nous paraît ordinairement obscure, c'est pour ce motif que nous ne pouvons apercevoir l'intérieur de l'œil que jusqu'à la pupille. — Ne serait-il pas possible d'éclairer l'œil de façon à pouvoir examiner la rétine dans toutes ses parties ? Ce désir a été réalisé très-heureusement par l'invention de l'ophthalmoscope, due au celèbre physicien Helmholtz. Avant de décrire cet appareil et ses usages il faut encore que nous examinions pourquoi la pupille nous paraît ordinairement obscure.

La quantité de lumière réfléchie par le fond de l'œil ne peut évidemment pas être très-grande, puisque la rétine seule peut la réfléchir. Or la rétine est très-transparente et derrière elle on rencontre de suite la couche pigmentaire qui absorbe toute la lumière pénétrant jusqu'à elle ; par conséquent, la réflexion doit être très-faible. Nous savons combien il est difficile d'apercevoir les objets dans une chambre, lorsqu'on est dans la rue et qu'on regarde à travers les fenêtres. Ceci provient de ce que la quantité de lumière sortant de la fenêtre est plus faible que celle que notre œil reçoit du dehors : notre œil reste alors insensible à la première. D'un autre côté la réflexion des vitres trouble aussi considérablement la perception des objets situés dans la chambre. Mais si, pendant la nuit, la chambre est éclairée, nous pouvons, de l'extérieur, apercevoir très-distinctement tout l'intérieur de la chambre, quoiqu'elle soit beaucoup moins éclairée que de jour.

Les mêmes causes jouent un certain rôle pour l'œil, mais il s'y ajoute encore une autre particularité qui augmente la difficulté d'en voir l'intérieur. Cette remarque s'applique aussi à la chambre obscure, car on ne peut pas apercevoir à travers la lentille, le fond de cet instrument même lorsqu'il est blanc. Dans l'œil et dans la chambre obscure les rayons lumineux

entrants ou sortants ont une marche régulière réglée par les lois de la réfraction, tandis que la lumière qui sort de la chambre à travers la fenêtre est diffuse, c'est-à-dire qu'elle envoie des rayons de tous côtés... Supposons que l'image d'une flamme se soit formée sur la rétine, nous pouvons considérer cette image comme un nouvel objet pour les milieux réfringents, image dont les rayons suivront une direction en sens inverse vers l'extérieur. Mais la route parcourue est absolument la même que celle qu'ils ont suivie en entrant; car lorsqu'une image est produite par une lentille et que nous remplaçons cette image par un objet de même forme, il se formera une nouvelle image qui, pour la grandeur et la situation, coïncidera parfaitement avec le premier objet. Nous voyons par cela, que les rayons lumineux réfléchis au dehors par une image rétinienne, retourneraient exactement à l'objet dont ils étaient partis.

Lorsque nous plaçons par conséquent la flamme d'une bougie devant l'œil que nous voulons examiner, cet œil réfléchira les rayons lumineux sur la flamme même et nous ne pourrons recevoir dans notre œil aucun de ces rayons puisque, si nous nous placions pour les recevoir entre l'œil à observer et la flamme, nous masquerions complétement cette dernière. Mais on peut vaincre cet obstacle et apercevoir l'œil éclairé en se servant, comme le montre la figure 21, d'une glace transparente. *C* représente l'œil à observer, *B* l'œil de l'observateur; la glace transparente *S* forme avec la ligne de jonction des deux yeux un angle de 45°. La bougie *A* envoie des rayons en *S* : une partie de ces rayons est réfléchie dans l'œil et l'éclairent. Les rayons sortant de l'œil *C* rencontrent de nouveau la glace : une partie d'entre eux traverse cette glace et se rend à l'œil de l'observateur, une autre partie est réfléchie dans la

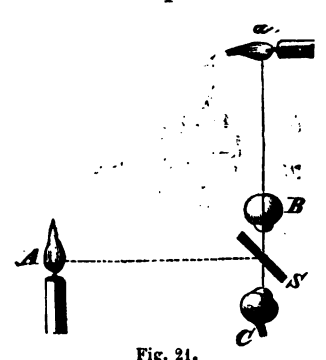


Fig. 21.

direction de *A*. On voit alors la pupille de l'œil *C* fortement éclairée et l'on aperçoit aussi la rétine plus ou moins distinctement éclairée. Les rayons sortants qui partent de l'image rétinienne et traversent la glace se réuniraient en *a* en une image aussi éloignée de la glace que la flamme *A*. Mais ces rayons sont recueillis par l'observateur et font voir une partie de la rétine.

Une glace placée obliquement est en effet l'ophthalmoscope le plus simple, et chacun peut facilement répéter l'expérience

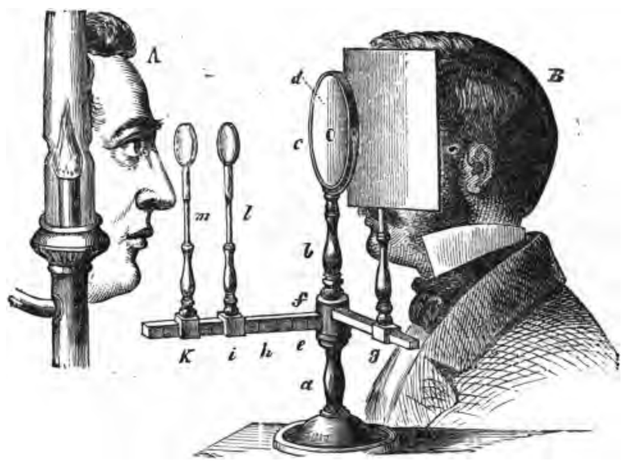


Fig. 22.

que nous venons de décrire. On peut se servir pour cet usage d'un morceau de verre à vitres ordinaire pourvu qu'on le place dans la direction indiquée par la figure, entre la lumière et l'œil à observer. On fait bien de placer, entre la lumière et la personne qu'on veut examiner, un objet quelconque en guise d'écran pour empêcher la lumière directe de troubler l'observation. On se place très près de la personne observée, en tenant la glace dans la direction décrite; on fait tourner lentement la glace jusqu'à ce que la lumière qu'elle réfléchit tombe sur l'œil. On voit alors, à travers la glace, la pupille éclairée d'une lumière rougeâtre.

Mais pour voir distinctement toutes les parties de la rétine,

il est nécessaire d'employer des lentilles calculées d'après la puissance de vision de l'observateur et d'après les rapports de la réfraction de l'œil observé. Un instrument basé sur ces principes constitue alors un ophthalmoscope complet. On a aussi remplacé la glace par un miroir, ordinairement concave, qui est percé à son centre d'une ouverture par laquelle regarde l'observateur.

La figure 22 montre l'application d'un instrument de ce genre construit par Ruete. La flamme éclairante se trouve à côté de la personne observée *A*. Cette lumière envoie des rayons sur le miroir concave *d*, qui les réfléchit sur l'œil observé. L'observateur *B* regarde à travers l'ouverture du miroir concave et fait glisser les deux lentilles *m* et *l* dans la position qui donne l'image la plus nette de la rétine.

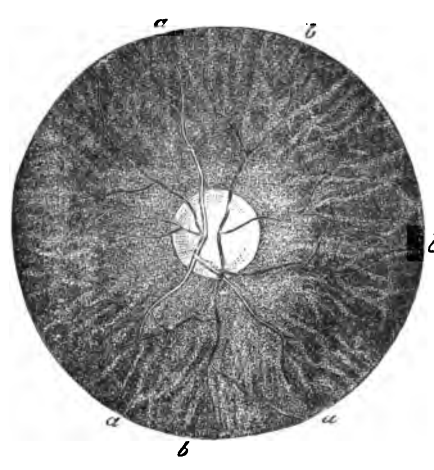


Fig. 23.

On peut, pour ainsi dire, fouiller à fond la rétine au moyen de cet instrument. La figure 23 nous montre à peu près ce que l'on observe dans l'image obtenue. Le fond général est coloré en rougeâtre foncé, l'entrée du nerf optique s'y dessine sous forme d'une tache ronde et claire du centre de laquelle partent les vaisseaux de la rétine, les artères *a*, les veines *b*, qui se répandent sur toute la rétine. La tache jaune, c'est-à-dire l'endroit où la vision se fait le mieux, y apparaît comme une petite tache plus claire que le fond.

L'ophthalmoscope est devenu un instrument d'une valeur incalculable pour le traitement des maladies oculaires. Beaucoup d'altérations morbides de la rétine et des parties internes

de l'œil peuvent être examinées et étudiées au moyen de cet instrument et l'oculistique a réellement fait des progrès énormes depuis son invention.

Les yeux d'un grand nombre d'animaux, des chats par exemple, se font remarquer par un luisant particulier, qui est surtout remarquable le soir. On croyait autrefois que les yeux de ces animaux produisaient de la lumière, de même qu'on croyait que les yeux de l'homme pouvaient luire dans les passions. Mais la cause de ce rayonnement des yeux est dû à un tapis de fibres brillantes situé derrière la rétine et qui réfléchit fortement la lumière. Dans une obscurité complète ce rayonnement ne peut pas se faire, ce dont on s'est assuré par des expériences très-exactes : mais il suffit d'un petit nombre de rayons de lumière pour les faire paraître luisants.

CHAPITRE QUATRIÈME

STRUCTURE DE LA RÉTINE. — LA TACHE AVEUGLE ET LA TACHE JAUNE. — LIEU DE LA SENSATION DANS LA RÉTINE.

La rétine est l'organe nerveux de l'œil, appareil très-délicat et très-compliqué dont le mécanisme nous est encore jusqu'ici peu compréhensible, et dont la structure a été pendant longtemps l'objet de recherches pénibles et l'est encore maintenant. On distingue dans la rétine, lorsqu'on en examine une coupe transversale très-mince sous le microscope, un certain nombre de couches diverses. La couche la plus interne, celle qui est le plus rapprochée de la surface du corps vitré, consiste en fibres nerveuses provenant de la dissociation du nerf optique à son entrée dans l'œil. Ce nerf perce toutes les membranes de l'œil (voyez fig. 7) au côté interne et près du centre de l'organe. Le même point sert de passage aux vaisseaux qui pénètrent dans l'œil et que l'on peut voir entoptiquement. La rétine ne se compose donc, au point d'entrée, que des fibres nerveuses du nerf optique, fibres qui de là s'étalent en rayonnant. Mais ces fibres laissent à nu un petit espace situé au centre de la rétine que l'on a nommé à cause de sa coloration *tache jaune* et qu'elles entourent circulairement. C'est cet espace qui nous offre la vision la plus nette et dont nous parlerons plus tard avec plus de détails.

Nous voyons ces couches de la rétine représentées par la

figure 24 d'après les travaux les plus récents de Max Schultze. Tout à fait à l'intérieur se trouve une membrane limite très-délicate 1, puis viennent vers l'intérieur : d'abord la *couche des fibres nerveuses* 2, puis *la couche des cellules ganglionnaires* 3, couche composée de cellules analogues aux cellules ganglionnaires du cerveau. A celle-ci succède *la couche à granulations fines* 4, composée d'une masse grisâtre indéterminée et contenant des granulations fines, puis vient la *couche granulée interne* 5, formée de cellules arrondies. Entre celle-ci et la couche granulée externe on rencontre la *couche granulée intermédiaire* 6, composée d'une masse finement granulée mélangée de fibrilles. La *couche granulée externe* 7 ressemble absolument à la couche granulée interne. Enfin, après une *seconde membrane limitante* très-délicate 8, on rencontre tout à fait à l'extérieur *la couche des bâtonnets et des cônes* 9 qui présentent une structure singulièrement remarquable. Elle consiste pour la majeure partie en bâtonnets libres et

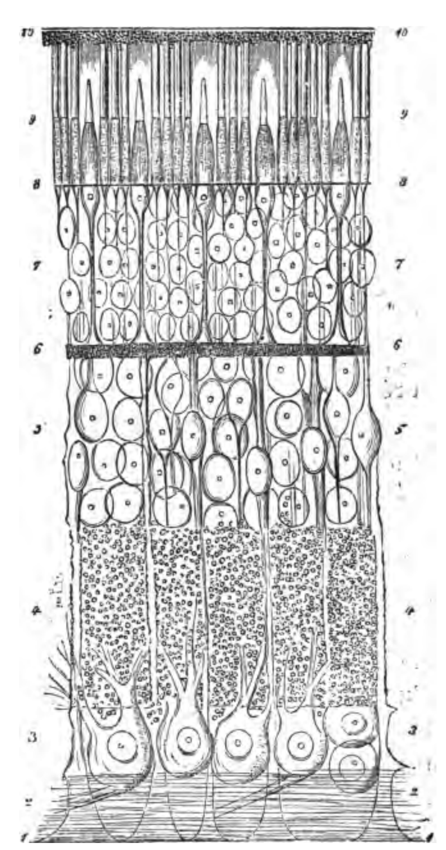


Fig. 24. — 1. Membrane limite. — 2. Couche des fibres nerveuses. — 3. Couche de cellules ganglionnaires. — 4. Couche à granulations fines. — 5. Couche granulée interne. — 6. Couche granulée intermédiaire. — 7. Couche granulée externe. — 8. Membrane limitante. — 9. Couche des bâtonnets et des cônes. — 10. Pigment de la choroïde.

transparents, qui sont rangés comme des palissades perpendiculairement à la rétine et serrées les unes contre les autres. De temps en temps on rencontre cependant entre ces bâtonnets un petit corpuscule devenant plus épais à la base et auquel on a donné le nom de cône (Zapfen). Au milieu de la tache jaune qui présente une petite concavité, *la fossette de la rétine*, on rencontre exclusivement de ces cônes très-serrés les uns contre les autres. Dans le reste de cette tache ils sont encore très-fréquents, mais leur nombre diminue graduellement lorsqu'on se rapproche du bord de la rétine.

C'est la couche des bâtonnets et des cônes qui, par la régularité de sa structure, a donné naissance à des conjectures sur le phénomène de la vision. La lumière qui pénètre dans l'œil est obligée de passer nécessairement à travers toutes les couches de la rétine pour arriver finalement à la couche des bâtonnets et des cônes, couche qui, elle, est recouverte extérieurement par le pigment noir, 10, de la choroïde. La lumière ne peut pas pénétrer plus loin; puisqu'elle est alors absorbée par le pigment.

Les bâtonnets et les cônes ont, d'après leur apparence, tous les caractères qui les font reconnaître comme organes d'un sens. Ils forment à la superficie de la rétine un tapis continu, qui ressemble à une mosaïque très-délicate et très-régulière, et chaque point de la rétine paraît à cause de cela être doué d'une sensibilité séparée qui lui est communiquée par un bâtonnet ou par un cône, tandis que d'un autre côté ils sont reliés entre eux d'une manière intime et géométriquement déterminée. Ces propriétés s'accordent très-bien avec la pénétration mathématique de notre vue et l'on se voit pour ainsi dire forcé d'admettre l'hypothèse que c'est cette mosaïque qui sert au phénomène de la sensation visuelle. Ainsi, lorsque nous tirons une ligne, d'un point quelconque du champ visuel à travers le point nodal de l'œil, cette ligne, en atteignant la rétine, touchera un bâtonnet ou un cône. Le point fera son image sur ce petit champ et sera perçu isolément par celui-ci. Nous pouvons ainsi supposer que tout le champ visuel se peindra sur notre rétine comme une mosaïque très-fine analogue à l'image d'une broderie.

De toutes les couches de la rétine celle des fibres nerveuses est touchée la première par les rayons lumineux et l'on pourrait, par conséquent, croire que cette couche n'est point insensible à ses effets. Mais il n'en est pas ainsi. Le célèbre physicien Mariotte a déjà montré que le nerf optique lui-même n'est point capable de percevoir la moindre trace de lumière sans l'entremise de la rétine. Il existe en effet sur la rétine une tache complétement aveugle et qui est située exactement à la place où le nerf optique pénètre dans l'œil (fig. 7, p. 44).



Fig. 25.

Fermons l'œil gauche et regardons de l'œil droit, à la distance habituelle de la vue distincte, la petite croix blanche de la figure 25. Lorsqu'on éloigne ou qu'on rapproche alors le livre, entre des limites assez étroites, on trouvera une certaine distance pour laquelle le cercle blanc situé à droite disparaîtra complétement. Mais il faut avoir soin de viser avec attention la petite croix blanche. Dès que l'œil se dirigera, quelque peu que ce soit, d'un côté ou de l'autre, le cercle apparaîtra de nouveau.

Dans les conditions prescrites pour l'expérience l'image du cercle tombera en effet sur la place d'entrée du nerf optique qui se trouve pour les deux yeux un peu sur le côté interne de la tache jaune, centre de la rétine. Ce qu'il y a de plus remarquable dans ces observations, c'est que nous ne remarquons pas

en cet endroit de lacune dans le champ visuel, mais que les points que nous percevons par les bords de cette tache se rapprochent et comblent la lacune. Le fond noir sur lequel se trouve la croix blanche paraît par conséquent continu et il en serait de même si le fond était blanc et la croix noire. Dans la vue ordinaire nous ne voyons pas non plus de lacune obscure à la place indiquée, mais les personnes exercées s'aperçoivent que les objets dont l'image tombe exactement sur la tache aveugle disparaissent complétement : on peut même faire disparaître le soleil en faisant tomber son image sur cette tache. Dans cet essai il faut avoir soin de fermer un œil, parce que le même objet ne peut pas envoyer en même temps ses rayons sur la tache aveugle des deux yeux.

Cette remarquable expérience nous apprend aussi que les fibres du nerf optique ne sont pas le moins du monde excités par la lumière et nous pouvons en conclure, que la lumière traversera la couche de la rétine, sans qu'il s'y produise une excitation.

La tache jaune possède en outre des propriétés très-remarquables que nous allons examiner.

Lorsque nous regardons attentivement un objet, le rayon visuel qui en part traverse le milieu de la pupille, le centre du cristallin et touche la rétine presque à son point central, là où se trouve la tache jaune. C'est donc dans la tache jaune que réside la puissance visuelle la plus forte et parmi les différents points de cette tache, c'est surtout la fossette rétinienne qui nous permet d'obtenir la vision la plus nette d'un objet.

La structure de la tache jaune nous explique parfaitement ses propriétés spéciales. Nous avons déjà fait remarquer que les filaments nerveux du nerf optique contournent circulairement la tache jaune lorsqu'ils s'étalent, dans le but évident de ne point priver ce point d'une partie de la lumière incidente. Ce fait prouve de nouveau que les fibres nerveuses n'ont point besoin d'être touchées par la lumière pour que nous y voyions.

Or, nous rencontrons dans la tache jaune les cônes accumulés et présentant une structure très-délicate. Nous sommes donc obligés de les considérer plus particulièrement comme

étant des organes de sensation lumineuse. Outre ces cônes nous trouvons dans la tache des cellules ganglionnaires et les autres parties constituantes de la rétine mais en couches minces, et enfin de petits granules pigmentaires qui produisent la coloration jaunâtre de la tache.

Quoique, comme on en a la preuve, les fibres nerveuses optiques soient tout à fait insensibles à la lumière et quoique l'impression des ondes lumineuses ait lieu dans les bâtonnets et dans les cônes, il est cependant probable qu'il existe une liaison entre les fibres nerveuses et ces organes. Les micrographes ont, pour ce motif, recherché depuis longtemps cette liaison et les recherches modernes s'accordent entre elles sur son existence. Cette liaison n'est, il est vrai, établie que par des fibres extraordinairement fines traversant toutes les couches rétiniennes et très-difficilement visibles, mais grâce à des observations infatigables, on a fini par les distinguer avec certitude.

La figure 26 nous montre de quelle manière la fibre nerveuse 2 se relie à la cellule ganglionnaire 3, puis avec la cellule 5 de la couche granuleuse interne, ensuite avec la cellule 7 de la couche granuleuse externe et finalement avec le bâtonnet ou le cône 9. C'est par ce chemin que l'excitation lumineuse qui s'est produite dans le cône, se propage au nerf optique qui, lui, la transporte au cerveau où elle amène la perception de la sensation lumineuse.

Le tronc du nerf optique peut être irrité directement, comme tout autre nerf, sans l'intermédiaire de la rétine et chaque fois cette irritation produit une sensation lumineuse. Lorsque l'on coupe le nerf optique dans une opération, l'opéré n'éprouve point de douleur, mais un éclair lumineux très-intense, auquel succède une obscurité éternelle. On peut aussi irriter le nerf optique au moyen de l'électricité, en faisant passer des courants par la cavité orbitaire et le crâne, et dans ce cas aussi on a la sensation d'éclairs traversant le champ visuel.

Les recherches sur la physiologie des nerfs ont eu pour conséquence de nous faire considérer les nerfs comme des organes de transmission pour un seul et même phénomène;

l'*excitation nerveuse*, qui s'y propage d'après une loi identique. Les nerfs tactiles, le nerf optique, le nerf acoustique, le nerf de la gustation et le nerf olfactif s'accordent dans leur essence. Le nerf optique transmet aussi peu des ondes lumineuses au cerveau que le nerf acoustique y transporte des ondes sonores. Mais les deux espèces de nerfs sont munis à leur extrémité d'appareils différents que l'on nomme organes des sens et par lesquels ils sont mis en état d'excitation. L'appareil terminal du nerf optique est constitué par l'œil, ou d'une manière plus restreinte, par la rétine, qui possède la propriété d'être excitée par les ondes lumineuses et de transporter cette irritation au nerf. L'appareil terminal du nerf acoustique se trouve dans l'intérieur de l'oreille et ses vibrations communiquent une irritation à ce nerf. Cette irritation transmise aux nerfs est absolument identique et ne porte plus en elle trace de son ou de lumière. — Mais comment, dira-t-on, notre cerveau perçoit-il si différemment ces deux excitations? On répond à cette question que les deux nerfs ont un centre de terminaison particulier dans le cerveau. Le centre nerveux du nerf optique possède d'autres propriétés que le centre du nerf acoustique. Le premier ne développe en soi que des perceptions lumineuses, le second ne produit que des sensations acoustiques. Les deux

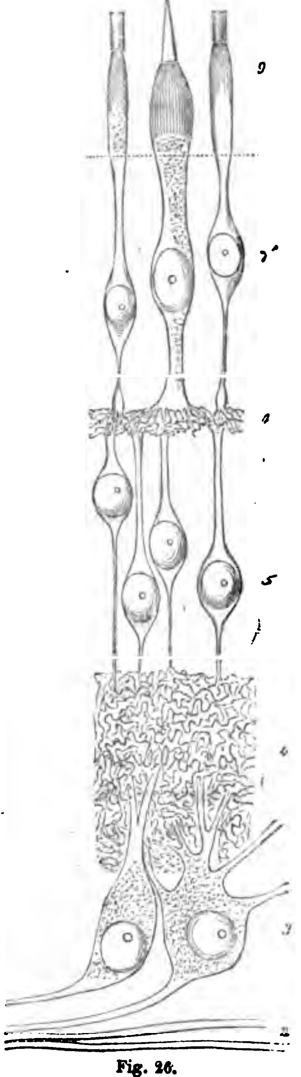


Fig. 26.

centres ne sont que des organes mécaniques, produisant par conséquent un effet unique, et incapables de produire autre chose que le même et unique phénomène. C'est pour cela qu'il peut se produire une sensation lumineuse sans que la lumière pénètre dans l'œil, dès que le nerf est tiraillé ou coupé ou irrité par l'électricité; car le nerf transmet son excitation à son centre qui la traduit par une sensation lumineuse. Il en est de même du nerf acoustique, dont le centre ne produit que des sensations auditives et jamais autre chose. Si par hasard le nerf acoustique était relié à l'œil et le nerf optique à l'oreille, tout rayon lumineux produirait un son et tout son éveillerait dans notre entendement une sensation lumineuse, en sorte que nous verrions une symphonie et que nous entendrions un tableau.

Mais retournons au phénomène de la sensation lumineuse dans la rétine et examinons de quelle manière nous devons la concevoir.

Les ondes lumineuses produisent, dans les bâtonnets et les cônes, d'une façon encore inexplicable aujourd'hui, une action qui consiste probablement en un mouvement moléculaire. Les cônes et les bâtonnets propagent ce mouvement, par le moyen des filaments de réunion, aux autres couches de la rétine, et c'est ainsi qu'il parvient d'un cône spécial au filament spécial qui y est uni et lui communique son excitation. Cette excitation nerveuse produit alors seulement la perception lumineuse dans le cerveau.

Henri Müller a prouvé par une mensuration et un calcul très-ingénieux que les bâtonnets et les cônes occupent l'endroit même de la rétine où se forme la perception de la lumière. Il se sert pour le démontrer de l'image vasculaire de Purkinje. Lorsque l'on fait mouvoir çà et là la flamme d'une bougie (voy. fig. 20), l'image des vaisseaux se déplace aussi, comme le montre le dessin. Or cette image est formée par l'ombre des vaisseaux de la rétine, et l'on peut, par les lignes du dessin, calculer la place de l'ombre en procédant de la manière suivante. On mesure l'angle *aka'* sous lequel on meut la flamme : cet angle est égal à l'angle *bkb'* et l'on peut calculer ainsi la dis-

tance entre *b* et *b'* sur la rétine. L'on peut encore calculer approximativement la distance du vaisseau *v* de *b* ou *b'* et par conséquent l'on peut trouver par le calcul l'angle *b v b'* égal à l'angle *c v c'*. Mais *c* et *c'* sont les ombres du vaisseau *v*, ombres qui dans le champ visuel semblent marcher de *d* en *d'*. On mesure donc encore par l'observation directe l'angle *dkd'* égal à *ckc'*, on en déduit la longueur de la ligne *c c'* puisque l'on connaît la ligne *k c* et l'on a dans le petit triangle *c v c'* que l'on peut considérer comme équilatéral la base *c c'* et l'angle *cvc'*. De ces données on peut déduire la distance du vaisseau *c* de l'ombre formée et l'on trouve ainsi que l'ombre est en effet projetée directement sur la couche des bâtonnets et des cônes.

Mais de quelle nature est l'influence de la lumière sur les cônes et sur les bâtonnets ? — On peut, d'après les connaissances que nous possédons actuellement sur la lumière, songer à la possibilité d'influences de nature diverse. Et d'abord ces influences pourraient être de nature chimique. Cette supposition est la première à laquelle on puisse songer, car nous savons que la lumière peut produire une image sur la plaque photographique en décomposant l'iodure ou le chlorure d'argent qui s'y trouvent. On pourrait donc admettre qu'il se trouve dans les bâtonnets et dans les cônes une substance se modifiant à la lumière et produisant ainsi une image réelle et matérielle sur la rétine. Cette image n'est sans doute point permanente comme l'image photographique et l'on est obligé d'admettre qu'elle est effacée par les effets de la nutrition et par la circulation du sang. Une telle image serait capable d'exciter les extrémités nerveuses car nous savons que les nerfs peuvent être excités par des agents chimiques. — Mais tout cela reste encore actuellement à l'état d'hypothèse. — Il en est de même de la supposition que la lumière pourrait produire sur la rétine des excitations de nature électrique, comme nous savons qu'il s'en produit dans les nerfs et dans les muscles. En un mot, la puissance qui donne aux bâtonnets et aux cônes la propriété remarquable d'exciter le nerf optique par l'influence de la lumière, est encore actuellement un mystère pour la science.

CHAPITRE CINQUIÈME

LES COULEURS DU SPECTRE. — MÉLANGE DES COULEURS. — LES TROIS COULEURS FONDAMENTALES. — LA CÉCITÉ POUR CERTAINES COULEURS.

La lumière que nous remarquons dans la nature n'est point homogène ; nous distinguons au contraire un certain nombre de lumières diverses que nous désignons par le nom de *couleurs*. Les objets que nous voyons possèdent tous une certaine couleur qui provient de la lumière qu'ils réfléchissent ou qu'ils réfractent. C'est pour cela que nous parlons souvent de lumière colorée, quoique nous sachions par la physique, que la couleur ne peut se séparer de la lumière, comme les couleurs de la peinture qui sont appliquées sur les corps. L'espèce de lumière que nous appelons *blanche*, est décomposée artificiellement par un prisme en un certain nombre de couleurs, qui comprennent toutes les couleurs simples, et qui produisent par leur mélange toutes les couleurs de la nature. Lorsque nous faisons tomber un rayon solaire sur un prisme, comme l'indique la figure 27, ce rayon est décomposé en un certain nombre de couleurs dont l'ensemble se nomme *spectre*.

Un rayon lumineux passant par l'ouverture *b* tombe sur le prisme S. Si ce rayon traversait le prisme sans être réfracté il produirait sur l'écran opposé un cercle éclairé *d*. Mais par la réfraction le rayon est dévié et comme les rayons colorés qui le

composent ont une réfraction différente, il en résulte une bande colorée *rv*, un spectre, où le rouge se trouve en *r*, c'est-à-dire qu'il est le moins réfracté, tandis que le violet *v* est le plus réfracté.

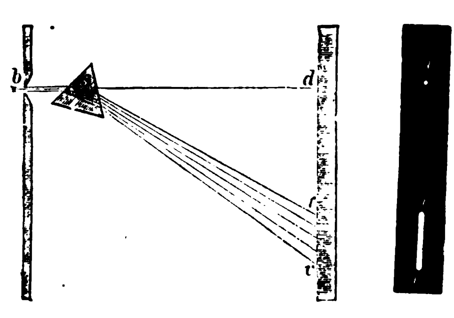


Fig. 27.

La figure 28 représente la position des couleurs visibles du spectre dans l'ordre de leur position. On y remarque en outre des lignes foncées, les lignes de Frauenhofer, qui sont spéciales à la lumière solaire et qui proviennent de l'absorption exercée par les gaz répandus à la surface du soleil. Le spectre débute par le *rouge* qui passe insensiblement à l'*orange*, puis

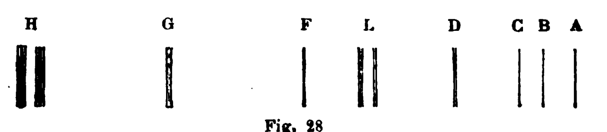


Fig. 28

vient une bande étroite de *jaune* pur, près de la ligne *D*, puis le *vert* en E. Le *bleu* qui vient ensuite est assez étendu et on le distingue pour ce motif en *bleu cyanique*, qui se trouve derrière la ligne F, et en *bleu indigo*, qui se trouve en G. Enfin nous voyons le spectre se terminer par le *violet*.

Les couleurs ne sont point nettement délimitées dans le spectre, elles passent au contraire insensiblement de l'une à l'autre. Nous pouvons distinguer comme couleurs tout à fait pures le rouge, le jaune, le vert, le bleu et le violet dont chacune produit une sensation qui n'a point d'analogie avec les autres.

Mais plus deux couleurs sont rapprochées l'une de l'autre dans le spectre, plus elles ont d'affinités entre elles ; ainsi le rouge a plus d'affinités avec le jaune qu'avec le vert ou le bleu ; l'impression que font sur nous le jaune et le vert nous paraît plus rapprochée que celle que produit le jaune avec le bleu ou le violet, etc. Un passage direct entre le rouge et le vert, quelque graduel qu'il fût, ne nous paraîtrait pas naturel, tandis que le jaune qui est situé entre eux produit une liaison naturelle entre le rouge et le vert.

La physique nous apprend que les rayons d'un spectre sont composés de vibrations lumineuses de différentes longueurs d'onde, diminuant depuis le rouge jusqu'au violet. Comme la lumière se propage avec la même vitesse, le violet fera plus de vibrations, dans le même temps, que le rouge : le premier à peu près 667 billions, le second environ 456 billions de vibrations par seconde. La physique nous apprend encore que tous les rayons d'un spectre se distinguent uniquement par la longueur d'onde de leurs vibrations et qu'elles n'ont point d'autres caractères particuliers, rien par exemple qui ressemble le moins du monde à la couleur que nous percevons. Supposons des ondulations plus ou moins longues se propageant à la surface de l'eau, cette apparition serait à peu près analogue aux ondulations des rayons rouges et des rayons violets. Mais les flots de différentes longueurs sont, d'après l'impression qu'elles font sur nous, tout à fait analogues, tandis que les ondes lumineuses de diverses longueurs qui pénètrent dans notre œil, y font naître des sensations dont la qualité est essentiellement différente. Car il y a une immense différence entre le rouge et le bleu ou le vert.

Le spectre n'a point de limites nettes à ses extrémités ; il passe insensiblement au noir, plus insensiblement encore du côté violet que du côté rouge. Cependant on remarque encore dans ces limites invisibles des actions physiques et chimiques. Le rouge invisible, l'ultra-rouge, est remarquablement chaud et la chaleur y atteint même le maximum de tout le spectre : elle diminue au contraire graduellement dans le spectre visible.

L'extrémité violette du spectre produit des effets chimiques puissants sur certaines combinaisons comme l'iodure et le chlorure d'argent et c'est pour cela que l'image photographique du spectre nous paraît considérablement prolongée au delà de l'extrémité violette. Mais Helmholtz a montré que nous pouvons apercevoir à l'œil les rayons ultra-violets du spectre en les soumettant à de certaines conditions. Lorsque l'on sépare la partie ultra-violette d'un spectre, formé dans une chambre obscure, en la faisant passer à travers la fente d'un écran, et qu'on la fait tomber sur un second prisme, afin de la débarrasser par une nouvelle réfraction de tous ses éléments étrangers, l'œil alors l'aperçoit sous l'apparence d'une lueur de couleur gris lavande.

L'œil, comme cet exemple nous le montre, n'est donc sensible aux ondes lumineuses que jusqu'à une certaine limite. La physique admet que tous les rayons du spectre, aussi bien les visibles que les invisibles qui se trouvent au delà du rouge et du violet, consistent en vibrations de l'éther lumineux, vibrations se distinguant par leur longueur d'onde, mais complétement identiques quant à leur forme. Mais ce ne sont que les vibrations de moyenne longueur qui agissent sur la rétine et celle-ci est insensible aux vibrations de l'éther dont la longueur d'onde est très-grande ou très-petite. Ce que nous appelons en général lumière et couleur, repose donc uniquement sur une propriété subjective de notre rétine, en tant qu'elle ne réagit que sur certaines vibrations de l'éther, et l'on pourrait s'imaginer l'existence d'yeux qui ne seraient point sensibles comme les nôtres aux vibrations moyennes de l'éther lumineux, mais qui le seraient aux vibrations extrêmes. De tels yeux verraient le monde sous un tout autre aspect que nous le voyons.

Toutes les couleurs que nous rencontrons dans la nature ou que nous produisons artificiellement, qu'elles soient simples ou composées, peuvent être obtenues au moyen des couleurs du spectre. En outre, le mélange de toutes les couleurs spectrales dans la proportion où elles se trouvent dans le spectre, produit la lumière blanche. Le spectre contient donc les parties

essentielles de toute lumière visible ou pouvant en général être aperçue par notre œil.

Lorsqu'on voulait autrefois étudier l'effet que produit un mélange de couleurs sur notre œil, on se contentait de combiner entre elles des matières colorantes telles qu'on les emploie dans la peinture, ou de mélanger des liquides colorés. Mais on était dans l'erreur en croyant que l'on obtenait ainsi une véritable couleur composée, c'est-à-dire la couleur que notre œil perçoit lorsque les deux couleurs simples agissent en même temps sur lui. Lorsque nous mélangeons, par exemple, une poudre jaune et une poudre bleue, suspendues dans de l'eau, nous obtenons du vert. Mais nous n'obtenons jamais de vert lorsque nous mélangons par un autre moyen des rayons lumineux jaunes avec des rayons lumineux bleus. La cause de cette différence réside dans les faits suivants. Une couleur pigmentaire, employée dans la peinture, consiste en petites particules transparentes qui laissent passer certains rayons lumineux déterminés et qui absorbent les autres. Lorsque nous en regardons une certaine proportion à la lumière incidente, une partie de cette lumière est réfléchie à la surface comme lumière blanche, une autre partie de la lumière pénètre dans les couches superficielles et est réfléchie à la surface des particules plus profondes. Cette dernière lumière est colorée, c'est-à-dire que les autres rayons colorés composant la lumière blanche sont absorbés ; une poudre jaune absorbe par conséquent tous les rayons lumineux sauf les jaunes : cependant cela n'est point tout à fait exact, d'autres rayons voisins du jaune, entre autres les rayons verts, sont aussi en partie réfléchis.

Il en est de même de la poudre bleue : outre les rayons bleus, elle refléchit quelques rayons verts; les autres rayons sont absorbés. Mais, dans le mélange, les particules bleues et jaunes sont placées les unes derrière les autres. Les rayons bleus sont par conséquent absorbés par la poudre jaune et les rayons jaunes par la poudre bleue, en sorte que le bleu et le jaune disparaissent presque complétement dans le mélange, tandis que le vert reste, puisqu'il est réfléchi et peut traverser en certaine

proportion les deux substances mélangées. Le résultat est absolument le même que lorsque nous superposons un verre bleu et un verre jaune et que nous regardons au travers. On voit alors apparaître du vert, car à travers le verre bleu il ne passe que du bleu et du vert, mais point de jaune, et le verre jaune absorbe complétement le bleu et ne laisse passer que le vert.

Les phénomènes sont tout à fait différents lorsqu'on fait agir en même temps deux couleurs sur l'œil, ce que l'on peut attein-



Fig. 29.

dre par la méthode suivante. On projette un spectre sur un écran sur lequel se trouvent deux fentes que l'on peut déplacer. On laisse passer à travers ces fentes deux rayons de couleur simple que l'on réunit alors au moyen d'une lentille. C'est la méthode la plus parfaite pour obtenir un mélange de couleurs.

La toupie colorée permet d'opérer le mélange des couleurs d'une manière plus facile.

Cet instrument consiste en un disque pouvant être mis en rotation sur un axe perpendiculaire, comme le montre la figure 29. D'une main on tient un étui qui fixe supérieurement l'axe et de l'autre main on tire rapidement un cordelet enroulé autour de l'axe : on produit ainsi une rotation rapide de la toupie. On a collé préalablement sur le disque une rondelle de papier

sur laquelle on a peint, comme on le voit dans la figure, des secteurs présentant les couleurs que l'on veut mélanger. L'œil aperçoit alors ces couleurs se succéder si rapidement à la même place que les sensations se confondent en une seule. Dans ce cas les sensations des couleurs simples sur la rétine se réunissent véritablement en une sensation de couleur composée. Lorsque l'on met sur la toupie des secteurs noirs et blancs, la rotation fait naître un gris uniforme et par l'usage de couleurs diverses on peut produire un grand nombre de couleurs composées de différentes nuances, que l'on peut rendre plus obscures par l'addition de secteurs noirs.

Il y a encore une méthode très-simple pour mélanger deux couleurs et qui n'exige point de grand appareil. Placez deux pains à cacheter colorés *b* et *c* (fig. 30) à quelque distance l'un de l'autre sur une table, et tenez devant votre œil une plaque de verre inclinée de telle façon que vous voyiez directement au travers de la plaque le pain *b* et que vous obteniez en même temps une image réfléchie du pain *c* qui recouvre l'image de *b* : leurs couleurs se mélangeront alors. L'on obtient aussi dans ce cas de réelles couleurs composées.

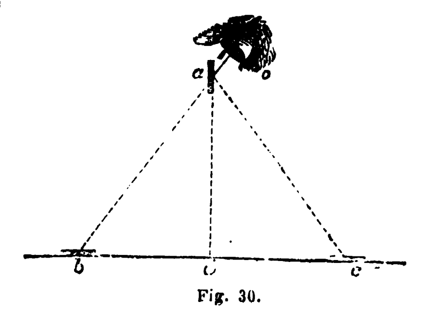


Fig. 30.

Toutes ces méthodes donnent des résultats analogues, quoique la toupie colorée [1] repose sur un autre principe que les deux autres méthodes. Dans celles-ci les rayons lumineux colorés sont objectivement (réellement) mélangés entre eux avant de pénétrer dans l'œil; avec la toupie ces couleurs ne sont point mélangées mais présentées successivement et très-rapidement à l'œil et ce n'est que dans la rétine que se fait le mélange de ces sensations particulières.

1. La toupie de Lohmeier est très-instructive : on peut se la procurer à Berlin.

Nous reconnaissons par là qu'une couleur composée ne produit pas sur la rétine une impression spéciale, mais que cette impression est elle-même composée et produite par le mélange des excitations que chaque couleur fait naître isolément.

Si l'on reproduit, sur la toupie colorée, aussi fidèlement que possible toutes les couleurs du spectre en conservant leur rapport respectif de clarté, leur mélange donnera une espèce de blanc, mais qui, à cause de leur clarté imparfaite, paraît plus ou moins gris. On obtient absolument le même gris, lorsque sur le disque de la toupie, il n'y a que des secteurs noirs et blancs, et comme le noir n'est autre chose qu'une absence de lumière, le mélange de ces deux couleurs donnera un gris dépendant de la nuance du blanc employé.

Le mélange de deux couleurs spectrales simples a conduit à des résultats remarquables. On a trouvé en effet qu'il existe plusieurs couleurs qui, mélangées deux à deux, produisent du blanc. Parmi ces *paires* de couleurs on trouve par exemple le jaune et l'indigo, tandis que deux matières colorantes de même nuance produisent du vert par leur mélange. On désigne ces couleurs paires sous le nom de *couleurs complémentaires :* outre celles dont nous venons de parler on remarque comme couleurs complémentaires, le *rouge* et le *bleu verdâtre ;* l'*orangé* et le *bleu cyanique;* le *jaune verdâtre* et le *violet.*

Lorsqu'on cherche, sur le spectre, la place de ces couleurs paires, on trouve que deux couleurs complémentaires présentent toujours entre elles un intervalle déterminé. Deux couleurs voisines ne peuvent jamais être complémentaires, tout aussi peu que les couleurs extrêmes, car le rouge et le violet mélangés produisent le pourpre. Nous remarquons en outre que deux couleurs complémentaires se trouvent toujours dans le voisinage du vert; il en est ainsi du bleu verdâtre, du bleu cyanique, du jaune et du jaune verdâtre. Le vert pur tel qu'il se trouve dans le spectre ne possède point de couleur complémentaire simple, on est au contraire obligé pour obtenir du blanc avec le vert pur de lui mélanger deux couleurs, le rouge et le violet.

Ces trois couleurs : le *rouge*, le *vert* et le *violet*, ont été désignées sous le nom de couleurs fondamentales, puisque ce sont les trois uniques couleurs pures qui donnent ensemble un blanc assez parfait.

Nous allons maintenant examiner quelle valeur on a attribué à ces trois couleurs fondamentales dans le phénomène de la perception des couleurs.

Le grand nombre de couleurs et de nuances que nous présente la nature a été réduit, par la découverte des couleurs du spectre, à un certain nombre de couleurs simples. Mais entre ces couleurs on rencontre, même dans le spectre, une grande série de couleurs de transition qui présentent diverses nuances. Chaque place du spectre diffère de ses voisines par le ton de sa couleur, puisque celui-ci se modifie continuellement avec la longueur d'onde des vibrations lumineuses, et le nombre des sensations colorées produites par le spectre dans toutes ses transitions doit nous paraître infiniment grand. On s'est par conséquent demandé, comment il est possible que la rétine soit capable d'éprouver des excitations si nombreuses et si diverses puisqu'il faut admettre que chaque couleur répond à une excitation spéciale.

Pour étudier cette question en détail, il est nécessaire de recourir de nouveau à nos connaissances sur la physiologie du système nerveux. Nous savons que l'excitation lumineuse se produit dans les bâtonnets et dans les cônes de la rétine et que cette excitation est communiquée par ces organes aux fibres du nerf optique. Lorsque, par exemple, de la lumière rouge agit sur un cône, il faudrait que l'excitation produite dans la fibre nerveuse liée à ce cône portât en elle un caractère quelconque, indiquant que nous avons affaire à de la lumière rouge; car sans cela le cerveau ne serait point capable de distinguer la perception de cette couleur. Lorsque de la lumière bleue agit sur le même cône, l'excitation produite dans la fibre nerveuse devra être nécessairement différente pour annoncer au cerveau que la lumière agissante est bleue : pour la lumière verte l'excitation devrait être de nouveau différente, en un mot, nous

serions forcés de croire que chaque couleur produit sur la même fibre nerveuse une excitation de qualité tout à fait différente.

Mais cette déduction est en contradiction directe avec l'idée que l'on s'est faite de la nature de l'excitation nerveuse. D'après cette idée, tous les nerfs sont identiques au point de vue de leur nature, et le phénomène de l'excitation se produit identiquement de la même façon dans tous les nerfs. On est parvenu à souder entre eux un nerf sensitif et un nerf moteur, de manière à en former un seul nerf, et dans ce cas l'excitation du nerf sensitif passe directement dans le nerf moteur et produit ainsi des contractions musculaires. Le procédé d'irritation est donc absolument le même dans les deux sortes de nerfs, et si, dans la vie ordinaire, l'excitation d'un nerf moteur ne produit jamais que des mouvements, et celle des nerfs sensitifs toujours des sensations, cela résulte uniquement de ce que les premiers sont en relation avec les muscles, tandis que les autres sont en relation avec les centres sensitifs du cerveau et éveillent dans ces organes différents, des phénomènes d'une nature différente. Nous avons déjà fait remarquer précédemment que le nerf optique ne diffère en rien des autres nerfs du corps. On pourrait, si cela était exécutable, relier l'œil au cerveau par l'intermédiaire d'un nerf moteur quelconque et la perception de la lumière n'en serait nullement abolie. L'irritation de ce nerf produirait toujours dans le cerveau une sensation lumineuse, parce que l'organe nerveux central de ce nerf, la substance du sens visuel dans le cerveau, ne développe en elle, lorsqu'elle est irritée, que des sensations lumineuses. Mais si l'excitation du nerf optique n'est point différente de celle des autres nerfs, comment pourrait-on admettre que l'excitation différât dans la même fibre nerveuse selon que la lumière qui agit sur cette fibre serait rouge, bleue, verte ou d'une autre couleur?

Pour sortir de cette difficulté, il ne nous reste qu'une hypothèse possible, c'est que chaque élément sensible de la rétine est uni à plusieurs fibrilles nerveuses, dont chacune serait sen-

sible à une couleur spéciale. Supposons par exemple un des cônes uni à l'extrémité d'une fibre qui par sa nature physique ou chimique ne pourrait être affectée que par la lumière rouge; cette fibre communiquera son excitation au cerveau qui recevra ainsi l'annonce d'une excitation lumineuse à laquelle elle attribuera la sensation du rouge. Supposons encore un autre filament nerveux relié au même cône, filament qui pourrait être excité uniquement par la lumière verte; le cerveau en recevant une excitation provenant de cette fibre, serait averti que la lumière agissante est différente de la première, et qu'elle est produite par des rayons que l'expérience lui a appris être verts. On peut ainsi admettre l'existence de plusieurs sortes de fibres dans le nerf optique, fibres se distinguant entre elles uniquement parce que leur organe terminal dans les bâtonnets et les cônes est différent et ne peut être irrité que par des rayons lumineux différents. Mais combien d'espèces de fibres faut-il admettre dans un élément sensible de la rétine? On pourrait être tenté d'en admettre autant qu'il y a de variétés de couleurs dans le spectre, mais il suffit de n'en admettre que trois correspondant aux trois couleurs fondamentales : le rouge, le vert et le violet. Tous les phénomènes de la sensation des couleurs s'expliquent, en effet, parfaitement lorsqu'on admet que chaque point de la rétine reçoit trois filaments nerveux, l'un impressionnable au rouge, l'autre au vert, le troisième enfin au violet.

De même que l'on peut obtenir le blanc par le mélange de ces trois couleurs fondamentales, de même aussi on peut produire toutes les nuances possibles par des mélanges variés de ces mêmes couleurs. Lorsque la rétine est frappée par de la lumière blanche, les trois espèces de fibres sensibles au rouge, au vert ou au violet, sont toutes excitées et l'excitation totale produit la sensation du blanc. Lorsque la rétine est au contraire touchée par de la lumière rouge, les fibres sensibles à cette couleur sont seules excitées. Cependant il est probable que les deux autres espèces de fibres sont aussi irritées, quoique faiblement, les vertes d'abord parce que le vert est le plus

rapproché du rouge dans le spectre, puis à un degré beaucoup moindre celles qui sont impressionnées par le violet.

La *lumière jaune*, d'après cette théorie, produirait une excitation moyenne des fibres sensibles au rouge et en même temps de celles qui sont sensibles au vert : elle exciterait faiblement les fibres sensibles au violet. Le jaune n'est donc pas une couleur fondamentale; il est au contraire, au point de vue physiologique, une couleur composée puisqu'il naît d'un mélange des sensations du rouge et du vert.

La *lumière verte* excite d'une manière prépondérante les fibres sensibles au vert, et très-faiblement les fibres sensibles au rouge ou au violet.

La *lumière bleue* excite en même temps les fibres sensibles au vert et celles qui le sont au violet : cette excitation est de moyenne force. La même lumière excite très-faiblement les fibres sensibles au rouge. Le bleu est donc aussi physiologiquement une couleur composée.

La *lumière violette* excite très-énergiquement les fibres sensibles au violet et très-faiblement les deux autres espèces.

Cette théorie de la sensation des couleurs a été émise d'abord par l'Anglais Thomas Young et perfectionnée depuis par Helmholtz. Ce dernier auteur a rendu sensible par la figure suivante (31) l'effet que les couleurs spectrales produisent sur la rétine.

Les lignes horizontales 1, 2, 3 représentent les trois sortes de fibres sensibles, 1 les fibres sensibles au rouge, 2 les fibres sensibles au vert et 3 les fibres sensibles au violet. Les lettres qui se trouvent sous la ligne 3 représentent dans leur ordre les couleurs du spectre : *R* le rouge, *O* l'orange, *G* le jaune, *Gr* le vert, *Bl* le bleu et *V* le violet. Au dessus de chaque ligne se trouve une courbe indiquant à quel degré la fibre nerveuse correspondante est excitée par les diverses couleurs du spectre. La courbe 1 atteint son sommet entre le rouge et l'orange, la courbe 2 a son sommet dans le vert et la courbe 3 dans le bleu et le violet. Si l'on mène pour chaque couleur une perpendiculaire traversant les trois courbes, on reconnaît à la hauteur

de la perpendiculaire comprise entre la ligne droite et la courbe, la force de l'excitation communiquée aux trois espèces de fibres nerveuses par diverses couleurs. L'on voit que le jaune ne produit qu'une excitation moyenne en 1 et 2, que le vert produit une forte excitation en 2 et une excitation faible en 1 et 3, que le bleu produit une excitation moyenne sur 2 et 3, et que le violet enfin n'exerce presque d'irritation que sur 3.

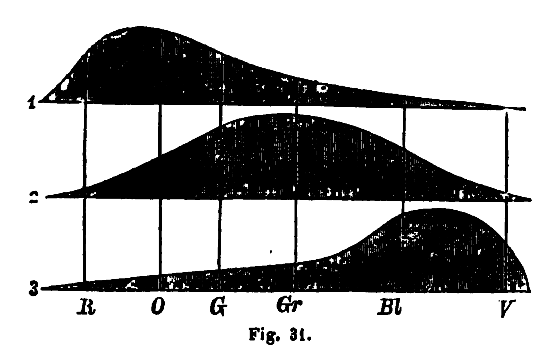


Fig. 31.

Une observation très-intéressante prouve qu'il existe nécessairement des éléments sensibles au rouge dans la rétine. On peut en effet s'assurer très-facilement que les bords les plus extérieurs de la rétine sont complétement insensibles à la lumière rouge. Prenez en main un corps rouge, un bâton de cire à cacheter par exemple; regardez directement devant vous et portez votre cire à cacheter latéralement derrière le champ visuel. Si maintenant vous le ramenez lentement en avant, jusqu'à ce qu'il apparaisse au bord du champ visuel, il ne vous paraîtra point rouge mais noir, et la couleur rouge apparaîtra subitement lorsqu'on le ramène encore plus en avant. Le bleu ne produit pas le même effet, on reconnaît très-bien cette couleur au bord du champ visuel.

Les bords de la rétine sont par conséquent aveugles pour le rouge, et ce fait ne peut s'expliquer facilement qu'en admettant que la rétine est privée, à ses bords, de fibres sensibles à la couleur rouge. Mais comme ces bords éprouvent parfaitement

la sensation du bleu, ils ne manquent pas de fibres qui participent à la sensation et sont dans le même cas que les autres points de la rétine. Mais s'il n'y avait qu'une seule fibre destinée à propager toutes les sensations de couleurs on ne pourrait comprendre pourquoi cette fibre ne serait point impressionnée par le rouge, au bord de la rétine. Il ressort de ce fait qu'il existe nécessairement des fibres nerveuses particulières pour la sensation du rouge. Cette cécité pour le rouge qui, dans un œil normal, se présente seulement au bord de la rétine, s'étend quelquefois à tout l'organe et produit ainsi chez beaucoup de personnes une cécité complète pour cette couleur. On rencontre en effet beaucoup de personnes, une environ sur vingt, qui ne sont pas en état de distinguer exactement la couleur rouge. Elles savent, par la langue usuelle, qu'il existe une certaine couleur appelée rouge et se servent de cette expression d'après leur expérience. Elles désignent le sang comme étant rouge parce qu'elles savent qu'on lui attribue cette couleur; il en est de même d'autres objets de même couleur; et il résulte de là qu'elles n'ont souvent pas même conscience du défaut de cette sensation de couleur. Mais, tôt ou tard, il se présente une circonstance par laquelle on peut se convaincre qu'elles ne peuvent distinguer un objet coloré en rouge au milieu d'objets colorés autrement. Le plus souvent elles confondent le rouge avec le vert foncé ou avec le jaune. Lorsque l'on montre à ces personnes un spectre solaire, elles y distinguent principalement deux espèces de couleurs qu'elles distinguent sous le nom de bleu et de jaune. Le spectre leur paraît en outre raccourci du côté rouge et elles ne perçoivent pas du tout le rouge extrême.

Cette particularité s'explique en admettant que chez ces personnes les fibres optiques sensibles au rouge manquent complétement ou bien qu'elles sont inexcitables. Le monde doit apparaître à ces personnes sous de toutes autres couleurs qu'à nous. Ce que nous appelons blanc doit leur paraître bleu-verdâtre, puisque le rouge y manque, et cependant elles le désignent du nom de blanc, parce que cette sensation comprend l'ensemble de toute la série de couleurs qu'elles peuvent per-

cevoir. Du reste il existe plusieurs degrés de cette cécité pour le rouge dans lesquels la sensibilité pour cette couleur est plus ou moins conservée.

Cet état prouve en outre que le rouge est une des trois couleurs fondamentales puisque cette couleur peut manquer complétement : il prête enfin un appui considérable à la théorie de Young et Helmholtz admettant qu'à chaque point de la rétine se trouvent trois fibres nerveuses correspondantes aux trois couleurs fondamentales.

CHAPITRE SIXIÈME

IMAGES CONSÉCUTIVES. — LE STROBOSCOPE. — IMAGES CONSÉCUTIVES POSITIVES OU NÉGATIVES. — IMAGES CONSÉCUTIVES COLORÉES. — HARMONIE DES COULEURS.

Dans la vision ordinaire l'image semble disparaître dès que l'objet exposé à notre vue est enlevé ou que l'éclairage cesse. Mais nous pouvons, au moyen de quelques phénomènes très-connus, nous assurer que l'impression lumineuse persiste encore quelque temps après l'action de la lumière. Lorsque nous faisons tourner rapidement en cercle une allumette en ignition, elle nous apparaît, non comme un point, mais comme une circonférence en feu. Une fusée ascendante ou une étoile filante produisent l'effet d'une ligne lumineuse. En outre, si la nuit est tout à coup illuminée par un éclair, il nous semble que cette illumination dure un certain temps et cependant l'éclair se produit en un instant d'une durée si courte, qu'un convoi de chemin de fer lancé à toute vapeur semble en repos pendant ce temps. Les effets subséquents de la lumière sont aussi très-désagréables lorsque nous avons, par exemple, regardé une lumière vive ou le soleil, car nous voyons alors pendant un certain temps des taches très-gênantes pour la vue et qui persistent même quand nous fermons l'œil.

Tous ces phénomènes qui suivent l'impression de la lumière sont connus sous le nom d'*images consécutives*. On peut

observer des images consécutives à la suite de la vision de toutes sortes d'objets, pourvu que les objets soient assez éclairés et l'œil assez sensible. Une fenêtre éclairée, par exemple, en produit très-facilement lorsqu'on ouvre et qu'on ferme rapidement l'œil devant elle. On voit alors, pendant quelques secondes encore, une image faiblement éclairée de la fenêtre disparaissant peu à peu. Nous avons déjà tacitement admis l'existence des images consécutives en parlant de la toupie colorée qui est composée de secteurs noirs et blancs ou colorés. Pendant une rotation suffisamment rapide nous ne percevons plus les secteurs isolément, mais un mélange homogène des couleurs dont ils sont teints. Nous avons affaire dans cette expérience à des images consécutives ; car si un secteur blanc s'est d'abord peint sur la rétine et qu'un secteur noir lui succède assez rapidement sur le même organe, l'image consécutive du premier secteur n'a point encore disparu et se combine par conséquent avec l'image noire pour produire un gris homogène. La rotation doit par conséquent atteindre une certaine rapidité, et c'est lorsque le noir et le blanc se remplacent à peu près trente fois par seconde que l'on perçoit un gris homogène. Lorsque la rotation est au contraire moindre, on perçoit une espèce de scintillement du noir au blanc qui produit sur l'œil une sensation désagréable et trouble. Cette impression devient encore plus fatigante lorsque nous regardons le scintillement d'un flambeau, ce qui provient de ce que l'œil se repose un instant, chaque fois que l'obscurité alterne avec la lumière, mais qu'il est ensuite excité avec une plus grande violence lorsque la lumière reparaît de nouveau.

C'est sur le principe des images consécutives qu'on a construit l'instrument si connu sous le nom de *stroboscope*. On y remarque des figures variées en mouvement, des danseurs, des cavaliers, des gymnastes, etc. La figure 32 nous expliquera très-facilement la cause de cette apparition.

Sur le disque on a représenté un pendule dans différentes positions de son parcours. On regarde à travers une des ouvertures 1-12 dans un miroir et l'on fait tourner modérément le

disque. On voit alors le pendule échanger rapidement les positions 1, 2, 3, etc., jusqu'à 12 et il semble que ce pendule exécute une oscillation. L'image consécutive du pendule persiste jusqu'à son remplacement par la position suivante du pendule.

Il y a d'autres images consécutives différentes de celles dont nous venons de parler, et qui se produisent lorsqu'on a considéré pendant un temps assez long un objet éclairé. Quand nous regardons, sans remuer les yeux, pendant une demi-minute ou une minute, un ciel très-clair, à travers une croisée, de façon que la croisée se peigne en un endroit précis de la rétine, et qu'alors nous tournons rapidement notre vue sur un mur ou sur un papier blanc, nous apercevons une fenêtre foncée avec une croisée claire. Dans cette forme d'image consécutive, tous les clairs de l'image primitive paraissent foncés, et toutes les parties foncées paraissent claires : on leur a, pour ce motif, donné le nom d'*images consécutives négatives*, tandis qu'on appelle *images consécutives positives* celles qui présentent la coloration de l'image primitive.

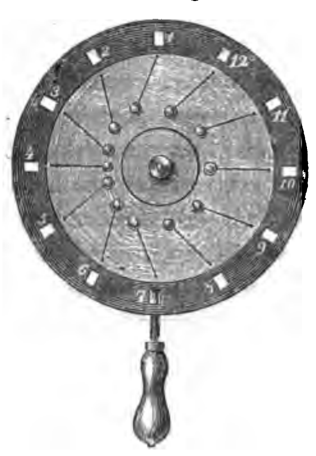


Fig. 32.

Les images négatives sont produites par la fatigue des places de la rétine où la lumière a agi avec le plus de vigueur. La surface claire de la fenêtre a excité pendant un certain temps la rétine, et l'a par conséquent fatiguée sur une certaine étendue, tandis que l'endroit où la croisée obscure s'était dessinée n'est point fatigué. Lorsque l'œil se porte alors sur une autre surface, les endroits fatigués seront plus faiblement excités, et l'on verra, par conséquent, surgir une fenêtre foncée avec croisée claire.

On peut faire une très-jolie expérience de ce genre, en procédant de la manière suivante. On place un petit carré de papier noir sur une feuille de papier blanc, et on le regarde pendant assez longtemps avec un seul œil Lorsqu'on jette alors

brusquement le regard sur le papier blanc, on y aperçoit un carré clair qui se déplace avec l'œil et qui disparaît peu à peu au bout d'un certain temps. Le déplacement de ces images, dans la direction du regard, est caractéristique et nous convainc que nous n'avons pas affaire à une réalité, mais à une illusion optique produite par des phénomènes internes de l'œil. Mais ce qu'il y a de plus remarquable dans ces illusions, c'est que, malgré leur mode de production, nous en projetons la cause à l'extérieur parce que nous y sommes poussés à notre insu par l'expérience.

Les images négatives peuvent aussi être aperçues quand nous avons les yeux fermés. Quand nous avons regardé des objets éclairés et que nous fermons les yeux, nous les apercevons encore, mais avec des teintes sombres. Ce fait parut longtemps inexplicable et inconciliable avec la théorie, précédemment exposée, des images consécutives. Mais les recherches instructives que Purkinge avait entreprises déjà au commencement du siècle, avaient déjà prouvé qu'il n'existe point d'obscurité absolue pour notre œil. Dans l'obscurité la plus profonde, même lorsque dans la nuit la plus obscure on éloigne soigneusement toute trace de lumière, l'œil conserve encore une sensation lumineuse propre que l'on a appelée la *lumière propre* de la rétine. La sensibilité de l'œil augmente considérablement dans cette obscurité, et alors apparaissent sur un champ visuel obscur des vapeurs lumineuses fantastiques qui s'élèvent et s'abaissent, disparaissent et reparaissent. Il est très-probable que ces images sont produites par l'excitation interne que la circulation du sang fait naître sur la rétine.

La lumière propre de la rétine persiste donc même quand nos yeux sont fermés, abstraction faite de la lumière diffuse, qui de jour pénètre à travers les paupières. L'image négative qui se produit lorsque l'œil est fermé, s'explique donc suffisamment parce que les portions fatiguées de la rétine deviennent moins sensibles à ces faibles sensations lumineuses.

Les images consécutives colorées qui se produisent dans l'œil présentent aussi un très-grand intérêt. On sait que certaines associations de couleurs sont agréables à l'œil, que d'au-

tres sont au contraire désagréables ou nous paraissent peu jolies. Parmi les combinaisons agréables, nous trouvons celles du bleu et du jaune, celles du rouge et du vert : les combinaisons qui nous paraissent laides, sont par exemple celle du vert et du bleu, celle du jaune et du vert, ou d'autres couleurs qui les avoisinent. On compare quelquefois ces couleurs au sens musical, et on les désigne parfois sous le nom de couleurs *harmoniques* ou de couleurs *disharmoniques*.

Lorsque l'on recherche à ce sujet la position des couleurs dans le spectre, on s'aperçoit que les couleurs harmoniques sont presque des couleurs complémentaires, et que les disharmoniques sont au contraire plus ou moins rapprochées dans le spectre.

Mais la cause scientifique de cette harmonie ou de cette disharmonie n'est point expliquée par les faits précédents, et l'on ne trouve une solution satisfaisante du problème que par les expériences suivantes.

Lorsque, pendant un temps assez long, on a regardé une surface verte et qu'on porte alors le regard sur une surface blanche, cette surface paraît pendant quelques instants rouge. Cette observation se présente fréquemment dans la vie ordinaire. Pour lui donner une forme scientifique, mettez un petit carré de papier vert foncé sur une feuille de papier blanc, et regardez-le pendant un certain temps très-fixement d'un seul œil; si vous regardez alors la feuille de papier blanc, vous verrez un carré rouge se promener avec le regard sur la surface blanche, et ce carré s'effacera au bout d'un certain temps.

Comment se forme cette image consécutive colorée? L'explication est simple : le vert n'a point excité tous les éléments rétiniens sensibles à la lumière, mais seulement les éléments sensibles au vert, et par conséquent ceux-là seuls se sont fatigués. Si l'on regarde ensuite une surface blanche, toutes les fibres rétiniennes sensibles sont excitées, mais celles qui sont fatiguées moins que les autres, et par conséquent, c'est la couleur complémentaire qui apparaîtra, et dans cette couleur le rouge dominera.

Les images consécutives colorées apparaissent toujours colo-

rées de la couleur complémentaire. Si l'on a regardé un papier rouge, la surface blanche apparaîtra verdâtre, le bleu donnera une image consécutive jaune, et réciproquement, en un mot, la couleur qu'on regarde et son image complémentaire sont toujours teintes de deux couleurs qui, mélangées, donnent du blanc.

Ces faits donnent un appui important à la théorie des couleurs actuellement admise. Ils s'expliquent facilement lorsqu'on admet que le rouge excite principalement les fibres sensibles à cette couleur, que le vert et le violet excitent au contraire des fibres différentes, et que l'excitation simultanée des trois ordres de fibres produit le blanc.

Il est encore une observation appartenant à cet ordre d'idées et que l'on a l'occasion de faire souvent dans la vie commune. Lorsqu'on a regardé un instant le soleil, il se produit des images consécutives très-intenses et persistant pendant longtemps. Elles sont toujours colorées, mais changent à chaque instant de couleurs. Ceci provient de ce que la lumière blanche du soleil produit une image consécutive dont toutes les couleurs ne disparaissent point également et en même temps : lors donc qu'une couleur disparaît, le blanc de l'image consécutive disparaît nécessairement, et les autres couleurs apparaissent et s'effacent peu à peu après de nombreuses variations.

Dans les arts on a, dès les temps les plus anciens, comparé les couleurs et les sons, et nous avons déjà parlé précédemment de l'harmonie des couleurs. Mais cette comparaison n'est admissible que jusqu'à un certain point. L'impression que fait un mélange de couleurs, et celle que fait un accord musical, diffèrent complétement entre elles. Une oreille exercée pourra toujours distinguer les sons d'un accord, elle en dissociera les diverses parties, mais une couleur composée fera toujours une impression d'ensemble, et il faut un œil très-exercé pour y démêler les couleurs composantes. Mais il est de toute impossibilité que l'œil puisse démêler dans le blanc les couleurs fondamentales quoique nous soyons certains qu'elles y sont contenues; dans une composition musicale, au contraire, on peut toujours distinguer les sons isolés.

CHAPITRE SEPTIÈME

MOUVEMENT DES YEUX. — LA VISION AVEC LES DEUX YEUX. — VUE SIMPLE ET VUE DOUBLE. — POINTS CORRESPONDANTS DE LA RÉTINE. — L'HOROPTÈRE OU HOROTROPE.

L'œil est capable d'exécuter des mouvements très-variés dans la cavité orbitaire. Comme il possède une forme sphérique, et que la cavité qui le contient présente elle-même la forme d'une sphère creuse, il est facile de concevoir que l'œil pourra exécuter des mouvements dans toutes les directions. Ces mouvements, comme nous le savons par expérience, s'exécutent avec la plus grande rapidité, et nous permettent de porter très-rapidement notre attention sur un grand nombre d'objets. Nos mouvements seraient bien embarrassés si les yeux étaient immobiles dans leurs orbites, et si nous étions obligés de tourner la tête par-ci par-là.

La figure 33 [1] nous représente les deux globes oculaires contenus dans leur cavité et en relation avec les muscles qui les mettent en mouvement. Les cavités orbitaires sont bornées par des parois osseuses et se rétrécissent en entonnoir à la partie postérieure jusqu'au trou optique par où pénètre le nerf optique. La cavité orbitaire est garnie d'une masse graisseuse au milieu de laquelle l'œil est renfermé comme dans une cavité articu-

1. Helmholtz, *Optique*.

laire. On y rencontre en outre des nerfs, des muscles et des vaisseaux sanguins. Nous voyons sur la figure le nerf optique *n* passer par le trou osseux *o*, mais, avant son passage, nous remarquons en *m* l'entrecroisement des deux nerfs optiques qu'on nomme le chiasma. Les muscles destinés aux mouvements de l'œil sont attachés à cet organe à peu près comme

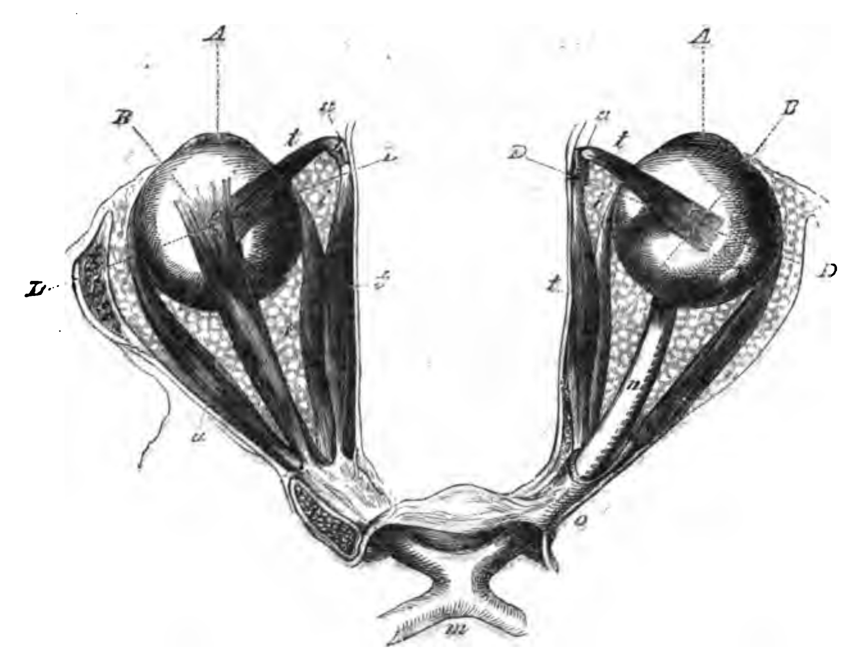


Fig. 33. — *m*, chiasma. — *n*, nerf optique. — *o*, trou orbitaire. — *a*, un des muscles droits. — *t*, muscle oblique supérieur. — u_1 anneau de l'oblique supérieur.

des rênes à la tête d'un cheval. Ils prennent presque tous naissance sur les parois osseuses qui entourent le trou optique et se rapprochent du globe oculaire en traversant la longueur de la cavité orbitaire. On distingue quatre muscles droits, l'un s'insérant à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure, le troisième au côté interne, le quatrième enfin au côté externe du globe oculaire.

Il est évident que le muscle supérieur dirige le regard en haut (en faisant tourner le globe oculaire sur l'axe *D*), que

le muscle inférieur dirige le regard en bas, que l'interne le dirige en dedans et l'externe en dehors. Puisque dans la vision ordinaire nous visons toujours le même point avec les deux yeux, il est évident que nous faisons mouvoir simultanément les deux yeux d'après des lois précises. Lorsque nous regardons en haut ou en bas avec les deux yeux, ce sont les muscles de même nom qui se mettent en action. Lorsqu'au contraire nous regardons à droite avec les deux yeux, c'est le muscle externe de l'œil droit et le muscle interne de l'œil gauche qui agissent, et le contraire arrive lorsque nous dirigeons les yeux à gauche. Mais quand nous dirigeons nos yeux sur un objet rapproché et situé au côté interne des yeux, ce sont les muscles symétriquement situés au côté interne des globes oculaires qui se contractent; et si nous fixons un objet éloigné, c'est par la contraction des deux muscles externes que les yeux sont ramenés au parallélisme. Il nous est absolument impossible de dépasser le parallélisme et de faire diverger nos yeux du côté externe.

Nous voyons ainsi, que les contractions des muscles de l'œil se combinent entre eux d'une manière très-variée. Quelquefois ce sont les muscles symétriquement situés qui se contractent ensemble, d'autres fois ce sont au contraire les muscles opposés qui se contractent simultanément. Mais toutes ces combinaisons ont toujours pour but de diriger les yeux sur le même point, de façon que les axes oculaires, qui partent de la tache jaune pour traverser le milieu de la pupille, se coupent au point visé par les deux yeux. Nous ne pouvons en aucune façon diriger nos yeux de façon que leurs axes ne se rencontrent point : nous ne pouvons pas, par exemple, regarder avec un œil en haut et avec l'autre en bas, ou avec un œil à droite et avec l'autre à gauche.

Outre les quatre muscles droits dont nous venons de parler, l'œil est encore muni de deux muscles obliques qui font mouvoir l'œil dans une direction transversale. Le premier de ces muscles est situé du côté supérieur et interne (*t*) et a un parcours très-remarquable. Il prend aussi son origine en arrière

près du trou optique et se dirige en avant, non directement vers l'œil, mais à travers une espèce d'anneau, *u*, comme une ficelle sur une poulie, se recourbe en cet endroit et s'insère transversalement à la face supérieure du globe oculaire. Le second muscle oblique est situé au côté inférieur du globe oculaire ; il est caché sur la figure. Il a son origine sur la paroi interne et antérieure de la cavité orbitaire, se dirige en dehors sous le globe oculaire et s'y insère du côté opposé à l'insertion de l'oblique supérieur (en *v*). Ces deux muscles obliques permettent à l'œil de faire des mouvements plus nombreux et plus variés que ceux qu'il peut exécuter par les muscles droits. On aperçoit facilement sur la figure que ces muscles obliques font tourner le globe oculaire autour d'un axe se rapprochant de l'axe du globe et que les deux muscles agissent en sens contraire.

Les mouvements de nos yeux, qui sont produits par l'action combinée des muscles dont nous venons de parler, s'exécutent dans des directions très-diverses et avec une très-grande précision. Ils ne servent point seulement à diriger les images du monde extérieur sur des points déterminés de la rétine, ils donnent encore de l'expression et de la vie à notre physionomie. Ce sont les yeux qui expriment principalement sur notre face, l'état de nos sentiments et de nos pensées, et cette expression est due surtout à la position et aux mouvements du globe oculaire auxquels s'adjoignent, il est vrai, les mouvements musculaires de la face, ceux des paupières et les changements dans l'accommodation des yeux. La tristesse dirige les yeux en bas, l'exaltation les soulève vers le ciel, et l'âme, qui reçoit par l'œil une nourriture spirituelle, traduit à l'extérieur, par le même organe, ses impressions intimes.

La vue par un seul œil est une vue imparfaite. Tout le champ visuel est représenté sur la rétine, comme un tableau, par une surface qui ne nous donne point de signes directs de l'éloignement des objets. Ce que nous regardons d'un seul œil, n'est en effet qu'une surface claire présentant des lumières, des ombres et des couleurs diverses et sur laquelle nous apercevons tous

les objets sur un seul plan. Mais par l'expérience nous avons appris à connaître des signes indirects qui nous indiquent que les objets sont proches ou éloignés. Les objets dont nous connaissons la grandeur, nous sembleront éloignés lorsqu'ils paraissent petits et nous sembleront rapprochés lorsqu'ils paraissent grands. Nous appliquons par conséquent à la vision unioculaire les mêmes règles de perspective qui, appliquées à un tableau, nous le font prendre pour un espace réel. Nous sommes obligés en outre d'accommoder plus fortement nos yeux pour voir exactement les objets rapprochés et nous pouvons conclure de là à la distance des objets. Mais en réalité nous ne voyons avec un seul œil qu'un plan et non les dimensions de la profondeur, et c'est l'expérience journalière qui nous persuade seule que nous avons devant nous un espace à trois dimensions. Lorsque cette expérience nous manque, nous tombons souvent dans des erreurs singulières par la vision unioculaire. Il arrive par exemple, quand nous regardons le ciel d'un seul œil et qu'un petit insecte vole au-devant de lui, qu'on croit voir voler un grand oiseau dans le lointain. On peut facilement faire l'essai suivant. Faites tenir par une personne à quelque distance de vous un anneau suspendu par un fil, et fermez un œil de manière à ne voir l'anneau que par son bord étroit. Essayez alors d'enfiler l'anneau avec une petite baguette et vous verrez combien il vous sera difficile de l'atteindre exactement : mais dès que vous aurez ouvert l'autre œil vous y parviendrez facilement.

La vision au moyen des deux yeux fait connaître à notre entendement la troisième dimension de l'espace et le laisse voir dans les profondeurs du monde extérieur. Nous pourrions sans doute, par le moyen du toucher et par l'observation du mouvement dans l'espace, acquérir l'idée de la profondeur avec la vision unioculaire, mais nous serions toujours privés d'une perception immédiate et claire du monde extérieur.

Nous allons maintenant considérer la vision binoculaire sous ses rapports les plus simples. Lorsque nous regardons un point déterminé, par exemple l'angle d'une table dirigé de notre côté,

cet angle formera son image sur la tache jaune de chacun des deux yeux et les axes oculaires prolongés iront se couper sur l'angle. Quoique nous ayons alors une image particulière du même point dans chaque œil, nous percevons cependant un seul point et non deux points. C'est là le premier problème que nous rencontrons dans cet examen. — Pourquoi apercevons-nous une image simple lorsque nous regardons des deux yeux, et non point une image double?

Nous ne pouvons pas encore donner de réponse catégorique, à cette question, mais nous pouvons assurer que la combinaison des deux images en une seule est produite par une action cérébrale. On a voulu relier le chiasma à la vision simple par les deux yeux, et l'on avait admis que les fibres nerveuses des deux nerfs optiques communiquaient ensemble en ce point. Mais cette communication n'existe point et nous sommes obligés de nous restreindre à l'idée que le cerveau est capable, dans de certaines conditions, de combiner l'irritation des deux nerfs en une seule, parce qu'il en projette les causes au dehors, au même point.

Lorsque par conséquent nous visons, à une certaine distance, l'angle de la table, les deux axes oculaires se coupent en ce point et forment entre eux un angle qu'on a appelé l'angle de convergence. Si nous laissons maintenant promener notre vue de l'angle le long du bord de la table, l'angle de convergence deviendra de plus en plus petit. Nous ne pouvons sans doute connaître la grandeur de cet angle que par mesure scientifique, mais nous possédons un sentiment délicat dirigeant la position de nos yeux au moyen des muscles qui les font rouler à droite ou à gauche, et ce sentiment nous indique à quelle distance se trouve le point que nous examinons. Nous appelons ce sentiment, le *sentiment musculaire :* il est plus ou moins développé dans tous nos membres, il mesure tous nos mouvements, nous conserve l'équilibre dans la marche et dans la station et nous rend aptes à acquérir diverses dextérités et divers talents.

C'est parce que nous laissons ainsi voyager à travers l'espace

le point d'entrecroisement des axes oculaires, que nous acquérons une connaissance de son étendue et des profondeurs qu'il renferme. Mais ceci seul ne constitue point tout l'avantage que nous retirons de la vision binoculaire. Jusqu'ici nous n'avons en effet parlé que de la perception du point examiné, qui forme son image sur la tache jaune de la rétine. Mais la rétine entière prend part à l'acte de la vision, la netteté décroît cependant vers les bords. Par ce motif les images totales de la rétine se combinent entre elles d'une façon toute spéciale et produisent une image en relief des corps. Si les points de visée étaient seuls sensibles dans les deux yeux, nous pourrions, il est vrai, acquérir la connaissance d'un corps en laissant promener les points de visée sur toute la superficie du corps, ce qui pourrait se faire avec une certaine rapidité. Mais malgré cela la forme immédiate du corps, qui nous saute pour ainsi dire aux yeux, nous ferait complétement défaut. Car lorsque nous visons l'angle de la table nous percevons en même temps une image corporelle puisque nous voyons l'image de la table entière.

Avant de pénétrer plus profondément dans l'acte de la vision en relief, examinons d'abord une propriété des deux rétines que nous avons constatée jusqu'ici pour la tache jaune seulement. Lorsqu'un point quelconque du champ visuel tombe sur la tache jaune des deux yeux, nous en percevons une image simple. Mais cette propriété de réunir les images s'étend sur toute la rétine, car dans la vision habituelle tout le champ visuel nous apparaît simple et non double.

On appelle les points des deux rétines capables de réunir en une seule les deux images, des *points identiques* ou *correspondants*. Il est facile de s'assurer quelle position ces points occupent les uns par rapport aux autres. Supposons un point situé à droite dans le champ visuel, ce point formera son image sur la moitié interne de la rétine droite et au contraire sur la moitié externe de la rétine gauche. S'il est par conséquent possible de voir ce point simple et non double, il faut que la moitié externe de la rétine gauche et la moitié interne de la rétine droite possèdent des points correspondants. On comprend que

les moitiés supérieures et les moitiés inférieures des rétines correspondront entre elles, comme les moitiés gauches et droites, car les points supérieurs du champ visuel feront leur

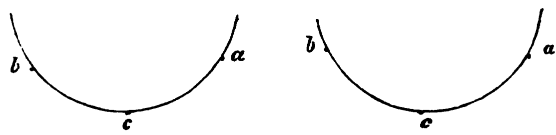


Fig. 34.

image sur la partie inférieure des deux yeux ; les points inférieurs le feront au contraire en haut, les points de droite, à gauche, les points de gauche, à droite. Il en résulte que nous trouverons les points correspondants des deux rétines en supposant ces deux membranes superposées dans leur situation naturelle.

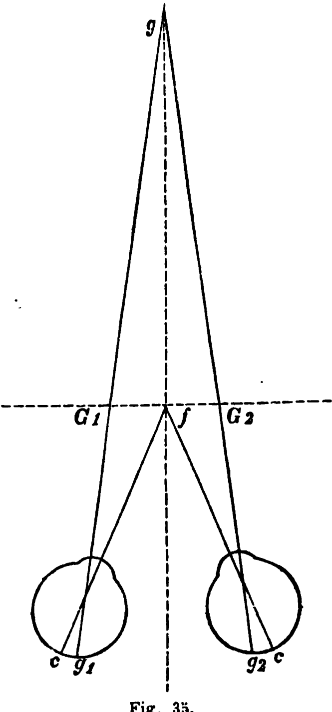


Fig. 35.

Les points qui se recouvrent, comme les points *a b c* (fig. 34) des deux demi-cercles dont l'un représente la rétine droite et l'autre la gauche, seront des points correspondants. On peut facilement démontrer que nous voyons en effet deux images, lorsque ces images ne tombent pas sur des points correspondants. Lorsque nous tenons à une certaine distance de nos yeux un doigt dressé et que nous regardons un objet plus éloigné, la fenêtre ou une lampe par exemple, le doigt nous paraîtra double ; lorsque au contraire nous fixons le doigt, c'est l'objet situé derrière lui qui nous paraîtra double.

On a représenté, sur la figure 35, les yeux dans la position qu'ils occupent lorsqu'ils regardent le doigt f. L'image c se forme dans la fossette rétinienne et est perçue simple. Par contre les yeux perçoivent deux images de l'objet g car cet objet forme deux images g_1 et g_2 qui sont situées l'une à droite et l'autre à gauche de c, et par conséquent sur des points non correspon-

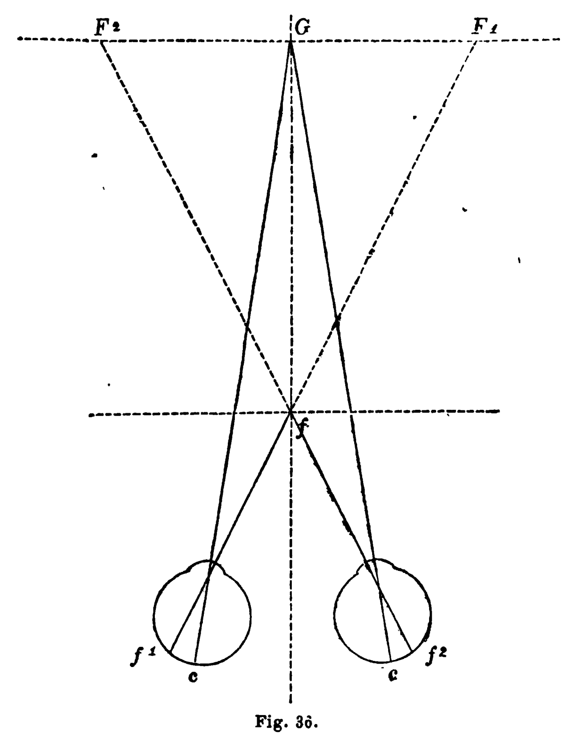


Fig. 36.

dants. Nous apercevons donc les deux images de g, des deux côtés de f, en G_1 et G_2 : ces images sont peu nettes tandis que celle de f est très-nette. Si maintenant nous fermons l'œil droit l'image G_2, située du même côté, disparaîtra; si nous fermons l'œil gauche c'est l'image G_1 qui s'évanouira. Les deux points g_1 et g_2 des deux rétines ne pourront donc en aucun cas produire une image simple d'un point situé dans le champ visuel.

Nous passons maintenant au second cas, c'est-à-dire à celui dans lequel les yeux regardent l'objet G. Dans ce cas, c'est le doigt qui paraît double. L'image de G tombe alors sur les points centraux *c* correspondants et donne une sensation simple. Dans l'œil droit *f* fait son image à la droite de *c* en f_1; dans l'œil gauche l'image se fait en f_1 à la gauche de *c*. Nous projetons les deux images au dehors sur les côtés opposés F_1 et F_1. Comme ils ne sont point tombés sur des points correspondants, nous les verrons doubles. Si nous fermons l'œil droit, l'image de gauche disparaîtra et réciproquement.

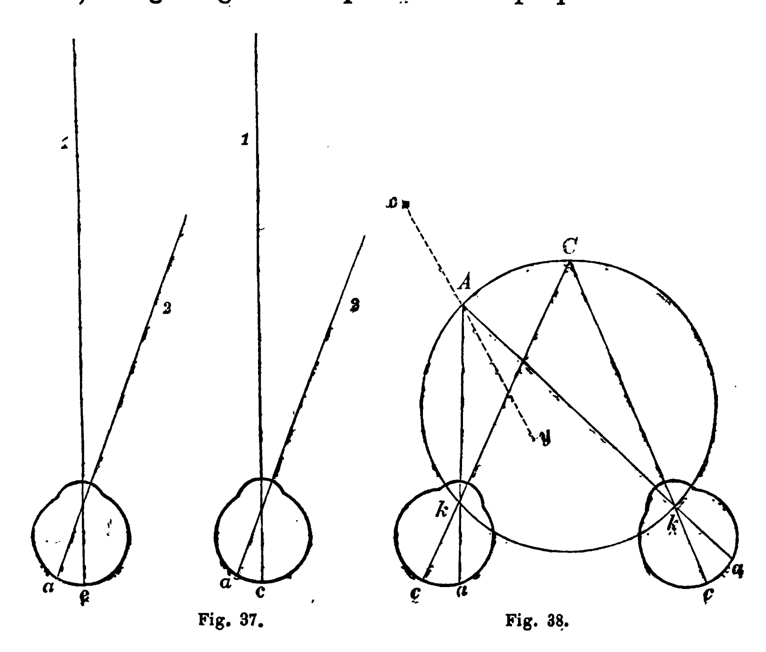


Fig. 37. Fig. 38.

Il n'y a qu'un seul cas où les points du champ visuel soient tous vus à l'état simple : c'est lorsque ce champ se trouve à une très-grande distance. Lorsque nous regardons par exemple à l'infini dans le ciel étoilé et que nous visons une étoile, toutes les autres étoiles nous paraissent simples et non doubles.

Pendant que nos yeux reçoivent les deux rayons parallèles 1, émanés de l'étoile considérée, les rayons 2 émanés d'une étoile

située à droite de la première arrivent aussi parallèlement dans l'œil et touchent la rétine en *a* et *a*. Comme ces points sont également distants de *c* et situés du même côté, ils produiront une image simple. Les objets situés à l'horizon ou une campagne éloignée vue du sommet d'une haute montagne, se comportent à peu près identiquement, car l'angle de convergence des deux yeux est dans ce cas presque insignifiant.

Mais dès que nous dirigeons nos yeux sur des objets plus rapprochés, les circonstances dans lesquelles nous voyons simple ou double se compliquent. Jean Müller a examiné le premier un cas très-intéressant de cette espèce. Lorsque nous considérons des deux yeux (fig. 38) un point *c* situé dans le plan médian, les axes visuels deviennent convergents et *c* se dessine sur le centre *c*. Traçons alors un cercle qui passe par *C* et par les points nodaux *k* des deux yeux et nous pourrons prouver que tous les points de l'espace situés sur cette circonférence donneront naissance à une image simple. Prenons par exemple le point A et menons les rayons *A k a* vers la rétine qu'ils toucheront en *a* : les angles *c k a* dans l'intérieur des yeux seront égaux parce qu'ils sont égaux aux angles périphériques *A K C*. Donc *a* est situé dans les deux yeux à égale distance de *c* et du même côté, par conséquent ces deux points sont correspondants et verront une image simple de A.

On peut se convaincre de la justesse de la figure par l'expérience suivante.

Prenez deux plumes, tenez-en une immobile en *C* devant les yeux et visez-la. Faites alors avancer la seconde en ligne *x y* et vous vous apercevrez que dans tout son parcours elle produira une image double, sauf au point A, où l'image sera simple.

On donne le nom d'*horoptère* (ou d'*horotrope*) à une figure de l'espace dont tous les points donnent une image simple. Dans le cas cité précédemment l'horoptère est un cercle. On a encore constaté qu'il fallait ajouter à ce cercle une ligne droite qui du point *c* traverse perpendiculairement le cercle. On peut aussi prouver géométriquement que tous les points de cette ligne ne produiront qu'une seule image.

On a tracé des horoptères plus compliqués pour des positions différentes des yeux, mais nous ne voulons pas nous y arrêter. Il y a cependant encore un cas intéressant, c'est celui où, étant debout, nous regardons dans le lointain. Alors, comme Helmholtz l'a démontré, le sol forme presque un horoptère de surface. Lorsque l'on considère avec quelle sécurité nous marchons sans regarder le sol, cet état d'indifférence pour ainsi dire des yeux ne nous paraîtra pas sans importance, car nous bronchons bien plus facilement lorsque nous regardons fixement un objet situé à la hauteur de l'œil.

CHAPITRE HUITIÈME

LA VISION EN RELIEF. — LE STÉRÉOSCOPE. — LE TÉLÉSTÉRÉOSCOPE. — LA VISION PSEUDOSCOPIQUE. — SENSATION DU BRILLANT. — LA CONCURRENCE DES CHAMPS VISUELS.

Quoique nous puissions démontrer par des expériences l'existence des images doubles dans la vision avec les deux yeux et quoique nous puissions prouver qu'il n'y a que des parties restreintes du champ visuel qui produisent des images simples, nous n'avons cependant point, dans la vision ordinaire, le sentiment de l'existence des images doubles. Un regard rapide que nous jetons autour de notre chambre ou dans la rue, à travers la fenêtre, nous démontre que nous n'avons vu aucun objet double et qu'au contraire tout nous a paru simple. Il y a plus : ce regard nous montre un espace dans lequel nous apercevons les objets à différentes distances et non point sur un plan. Nous gagnons par la vision binoculaire l'idée d'espace et l'impression du relief.

On peut facilement trouver la condition à l'aide de laquelle nous obtenons l'impression de l'espace. Lorsque nous considérons dans la chambre un objet de manière à apercevoir en même temps la muraille située derrière lui, l'objet nous cachera nécessairement une partie de cette muraille. Mais cette partie cachée n'est point tout à fait la même pour les deux yeux : pour l'œil droit elle est située un peu plus à gauche, et

pour l'œil gauche un peu plus à droite, et si nous fermons alternativement et un peu rapidement l'œil gauche et l'œil droit l'objet paraîtra vaciller devant la muraille. Il résulte de ce fait, que les images rétiniennes des deux yeux ne peuvent être absolument identiques et que les objets doivent nous apparaître comme enfoncés les uns dans les autres.

Cette différence dans les images des deux rétines n'est naturellement point arbitraire, mais est produite au contraire selon des règles fixes et constantes. Nous pouvons nous imaginer que nous apercevons un espace de deux points de vue différents, et que nous obtenons alors deux images qui paraissent déviées l'une par rapport à l'autre. C'est ce qui se passe en effet à un degré moindre pour la vision binoculaire, car l'œil droit occupe une autre position dans la tête que l'œil gauche.

Nous avons déjà appliqué plus haut, pour un cas particulier, la loi d'après laquelle se fait la déviation des objets que nous apercevons. En général, de deux objets situés l'un derrière l'autre, l'objet le plus rapproché sera beaucoup plus dévié que le postérieur et l'œil droit le déviera plus à gauche et l'œil gauche plus à droite.

Il est très-difficile de figurer la direction et l'étendue de la déviation lorsqu'il s'agit d'un grand espace rempli de beaucoup d'objets. Pour un corps simple cette représentation réussit plus facilement. Prenons pour exemple une pyramide à quatre pans, tronquée par le sommet et que nous regardons par en haut ; elle nous apparaîtra généralement comme elle est représentée sur la figure 39 (*P*). Mais lorsque nous ne la regardons que de l'œil droit, le carré du sommet nous paraîtra dévié à gauche comme en *r*, et lorsque nous la regardons de l'œil gauche seulement le carré nous paraîtra dévié à droite comme en *l*. Il est entendu que dans cette expérience on tiendra la tête au-dessus de la pyramide de manière que son plan médian perpendiculaire se trouve juste au-dessous du centre P de la pyramide.

Lorsqu'on regarde la pyramide simultanément avec les deux yeux, il est évident que l'œil droit perçoit l'image *r*, tandis que l'œil gauche perçoit l'image *l* : ces deux images diffèrent l'une

de l'autre, mais l'expérience nous démontre que ces deux images se confondent en une seule image en relief.

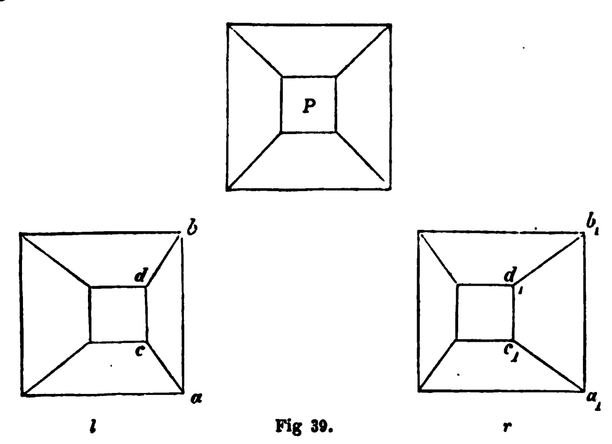


Fig 39.

L'illustre physicien Wheatstone a le premier prouvé que c'est la différence des images perçues par l'œil droit et par l'œil gauche qui constitue la condition essentielle de la vision du relief. Il construisit un *stéréoscope* très-simple, avec lequel on regarde deux dessins de la façon suivante. Les deux yeux

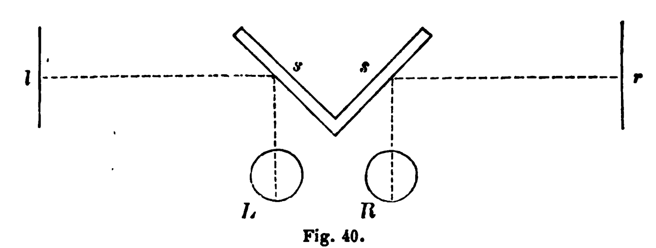


Fig. 40.

R et *L* (fig. 40) regardent deux miroirs *s* et *s* qui forment un angle droit entre eux et sont placés obliquement par rapport aux yeux. En *r* se trouve un dessin, par exemple celui de la pyramide telle qu'elle apparaît à l'œil droit, en *l* on met le dessin de la pyramide telle qu'elle apparaît à l'œil gauche. D'après les lois de la réflexion chaque œil aperçoit sur le prolongement de l'axe visuel l'image qui lui est destinée et ces deux images se combinent en une seule qui présente le relief.

Le stéréoscope de Wheatstone est remplacé actuellement par celui de Brewster, qui se trouve dans toutes les mains. La forme extérieure de cet instrument est suffisamment connue. Sa partie fondamentale est constituée par deux prismes (fig. 41) *s* et *s* par lesquels regardent les deux yeux *R* et *L*. Les deux images *r* et *l* sont les images correspondantes aux deux yeux. Le rayon *a b* de l'image droite est réfracté par le prisme et paraît venir de *c*; le rayon correspondant de l'image gauche est semblablement réfracté et semble aussi venir du même point *c*. Les deux images sont donc réunies en *p* où chaque œil croit apercevoir son image et les deux images se confondent en une seule image à relief.

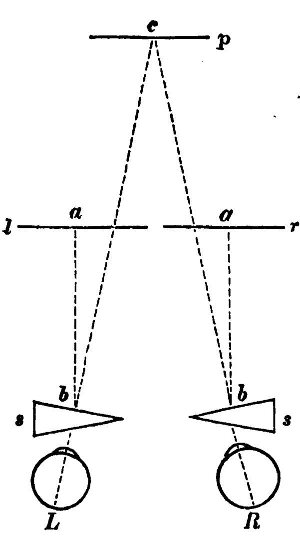


Fig. 41.

La photographie a, comme on sait, rendu de très-grands services pour la production d'images stéréoscopiques. Deux chambres obscures, placées comme le sont les yeux, produisent en effet deux images semblables à celles que nous voyons en réalité et ce résultat ne s'obtient pas seulement pour les corps simples, mais aussi pour un grand nombre d'objets groupés diversement dans l'espace. L'impression du relief que nous obtenons par le stéréoscope est, par cela même, toujours très-frappante.

Nous pouvons aussi obtenir une vue stéréoscopique sans l'emploi d'un instrument; il suffit pour cela de placer les axes des yeux parallèlement, de manière que l'œil droit regarde l'image qui lui est destinée et que l'œil gauche regarde la sienne. Il faut alors accommoder sa vue comme si l'on voulait regarder un objet situé derrière les images. Pour y parvenir plus facilement on peut percer un petit trou au milieu de chaque image et tenir les images de telle façon que les deux yeux puissent

apercevoir, à travers les ouvertures, le même objet éloigné. Lorsque l'on s'efforce d'apercevoir cet objet avec les deux yeux on remarque que ces deux images se superposent et se confondent en une image stéréoscopique.

En regardant une image stéréoscopique nous laissons promener notre regard (c'est-à-dire la ligne de visée des deux yeux) sur le champ visuel, comme nous le faisons dans la vision habituelle. Le point visé se trouve à l'entrecroisement des lignes de visée. Si nous regardons des points rapprochés, les yeux convergent; si nous en regardons de plus éloignés, les yeux divergent. Lorsque nous regardons par exemple (fig. 39) la base *a b* et a_1 b_1 de la pyramide, et que nous dirigeons alors notre vue sur l'angle plus rapproché *c d* et c_1 d_1, la ligne de visée de l'œil droit passe de a_1 b_1 à c_1 d_1, et la ligne de visée de l'œil gauche de *a b* à *c d*, c'est-à-dire qu'elle fait un trajet beaucoup plus court; par conséquent ces deux lignes deviendront plus convergentes. De là provient la persuasion que nous avons passé de la contemplation d'un objet éloigné à celle d'un objet rapproché.

L'espèce de voyage qu'exécute le point commun de visée des deux yeux est d'une ressource précieuse pour l'évaluation des distances et pour la connaissance de l'espace, et joue aussi le rôle principal dans la vision stéréoscopique. On pourrait donc croire que la vue du relief se produit parce que nous scrutons tout l'espace par des mouvements rapides des yeux, et que, par ce moyen, nous apprenons à connaître ses dimensions. Mais quelque importants que soient ces mouvements, la vue du relief peut cependant être obtenue sans que les yeux remuent. On voit le relief des objets au moment d'un éclairage subit par un éclair ou par la lumière électrique, sans que les yeux aient eu le temps d'exécuter le moindre mouvement. Les expériences de Dove prouvent encore plus exactement ce fait. Ces expériences consistent à regarder des images stéréoscopiques au moment d'un éclairage électrique instantané. L'impression est en général stéréoscopique, au moins au milieu du champ visuel, tandis que les parties latérales ne peuvent être jugées parce qu'elles sont indistinctes.

Il est très-remarquable qu'on ne perçoit point d'images doubles dans ces expériences, aussi peu que dans la vue ordinaire, quoique en réalité elles doivent exister. Les images doubles ne se produisent donc, que lorsque nous leur accordons de l'attention après une longue contemplation. Cette condition ne peut être remplie pendant un éclairage subit et notre attention en est détournée pendant la vision ordinaire.

Il résulte de ces faits que, dans la vision stéréoscopique, les deux images se réunissent en une seule, mais cette réunion n'est point le produit d'une propriété particulière des deux rétines ou des nerfs optiques, elle dépend au contraire de l'intention de celui qui regarde. Car nous pouvons percevoir les images doubles lorsque nous le voulons, à condition toutefois que nous ayons le temps d'y fixer notre attention. L'image commune ne se produit pas non plus parce que nous négligeons de remarquer l'image destinée à l'un des deux yeux, et que nous fixons notre attention sur l'autre ; mais les deux images se combinent dans notre conception. Il s'agit ici d'un acte de notre entendement que nous ne pouvons pas encore analyser physiologiquement. Nous devons ajouter cependant, que c'est l'expérience qui nous a appris cette manière de percevoir et que celle-ci n'existerait certainement pas, si nous n'avions pas appris, par des exercices mille fois répétés, à connaître les dimensions en profondeur de l'espace. Cette connaissance s'acquiert surtout par les mouvements oculaires que nous exécutons continuellement et par lesquels nous évaluons la distance des objets.

La fusion des images doubles contribue considérablement à la vision stéréoscopique. Puisque les deux images sont inégales et puisque nous percevons avec les deux yeux une partie plus grande de la surface d'un corps qu'en le regardant d'un seul œil, ce que nous voyons ne peut être un plan, mais est au contraire, d'après notre expérience, un corps.

Les images stéréoscopiques nous ont appris à connaître plus exactement les lois qui président à la vision des corps. La perception de la forme de la pyramide (fig. 39) s'explique par la diversité des deux images que nous voyons. Il est donc

facile d'expliquer comment les images devraient nous apparaître si nous voulions regarder par la base dans l'intérieur de la pyramide. Nous n'avons autre chose à faire qu'à échanger les images comme nous les présente la figure 42. L'œil droit voit alors l'image *r* où le sommet de la pyramide est dévié à droite; l'œil gauche voit l'image *l* où la déviation se fait à

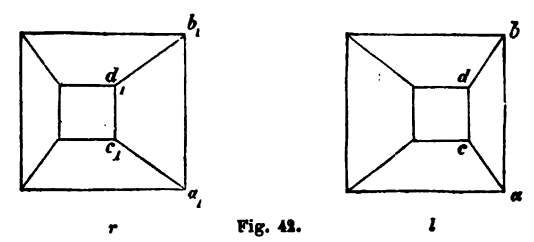


Fig. 42.

gauche. L'impression stéréoscopique nous produit alors l'effet d'une vue dans l'intérieur d'un corps creux.

Le même effet se produit pour les images de la figure 43. Les images 1 produisent l'effet d'un cône tronqué dont le

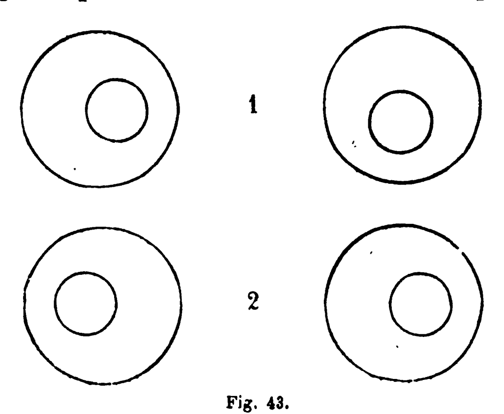


Fig. 43.

sommet est rapproché de nous, les images 2 au contraire l'effet d'un cône tronqué à l'extérieur duquel nous regardons par la base. Lorsque, par une disposition facile à exécuter, on déplace le cercle intérieur des figures de 1 en 2, on peut observer directement la transformation de ces corps de l'un à l'autre.

D'après cette expérience il devient évident qu'en échangeant

entre elles deux images stéréoscopiques, on obtiendra toujours le même résultat; c'est-à-dire que tous les reliefs se changeront en creux et réciproquement. Les corps simples donnent toujours le même résultat par leur échange. On donne à ces images échangées le nom de *pseudoscopiques*. Une sphère se transforme ainsi en sphère creuse, un haut-relief se change en bas-relief. Mais un tableau compliqué, comme par exemple un paysage ou une rue, produit un aspect très-confus par l'échange des images. Il nous paraît que les objets, les hommes, les arbres, etc., sont situés dans des enfoncements du sol, et cependant tout occupe sa place relative. C'est pour ce motif que les objets rapprochés nous paraissent très-grands parce que nous les projetons dans l'éloignement, et les objets éloignés nous paraissent petits parce qu'ils nous paraissent rapprochés.

Les effets du *téléstéréoscope* de Helmholtz sont très-intéressants. Cet instrument nous fournit une image plus fortement stéréoscopique des objets éloignés que nos yeux ne peuvent nous la fournir. Les deux yeux, *r* et *l*, regardent les deux miroirs *s* (fig. 44) qui sont situés obliquement devant eux comme dans le stéréoscope de Wheatstone. Sur les côtés et à quelque distance des premiers se trouvent deux autres miroirs *s*, qui leur sont presque parallèles. Les rayons d'un corps éloigné tombent d'abord sur ces derniers miroirs qui les réfléchissent sur les premiers où ils sont de nouveau réfléchis pour pénétrer finalement dans l'œil. Cette double réflexion produit le même effet que si nos yeux étaient à la place des deux miroirs *s*. Imaginons deux yeux, situés à cette distance sur une tête de géant, ils verront nécessairement une plus grande partie de la périphérie d'un corps que deux yeux à leur place ordinaire, et cette vue produira un effet stéréoscopique plus intense. On peut voir sur la figure que nos yeux peuvent apercevoir uniquement l'arc *a c a* de la sphère *k*, tandis qu'au moyen des miroirs *s'*, ils apercevront l'arc *b a c a b* beaucoup plus grand que le premier, parce que les rayons *b* sont réfléchis sur les miroirs *s* par les miroirs *s*. Un paysage que nous regarderions au moyen d'un appareil semblable, nous paraîtra donc plus rap-

proché parce qu'ordinairement nous n'apercevons que si grande surface des objets que lorsqu'ils sont très-rapprochés de nous et, comme la grandeur apparente des objets reste la même, ils nous font l'effet de modèles dont le relief est très-saillant.

L'étude des effets stéréoscopiques nous a aussi fourni une explication du brillant des objets. Le brillant se produit sur

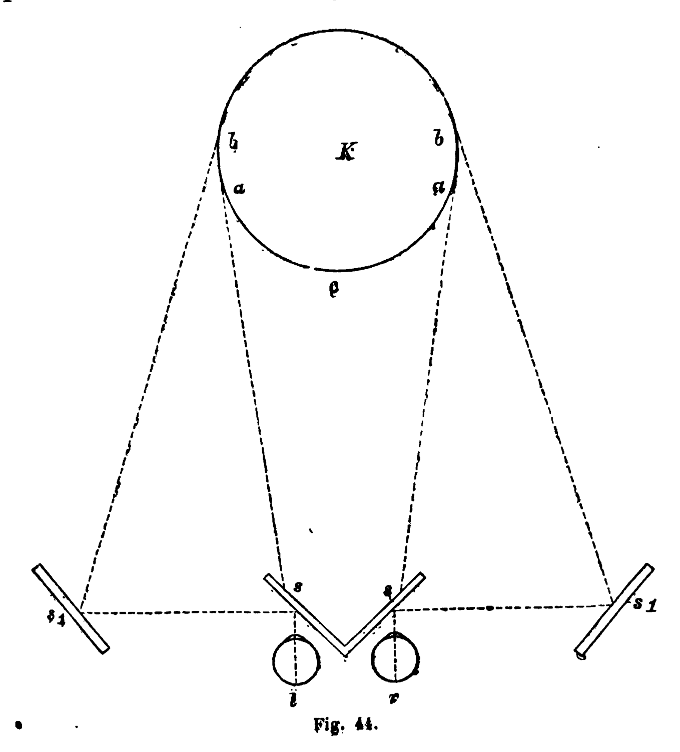


Fig. 44.

des surfaces qui miroitent, mais qui ne sont point tout à fait lisses et homogènes. Une eau tout à fait tranquille miroite, mais ne brille pas; dès qu'il s'y forme des ondulations légères elle prend du brillant. La soie brille, parce que chaque brin miroite, mais que l'ensemble des brins ne forme pas une surface miroitante. On a observé qu'en regardant par le stéréoscope deux images semblables dont l'une est noire et l'autre blanche (fig. 45) la réunion des deux images produit l'im-

pression du brillant. On explique ce phénomène de la manière suivante. Un point spécial d'une surface brillante ne peut point paraître également éclairé aux deux yeux, car il ne réfléchit pas la même quantité de lumière dans diverses directions. On reconnaît qu'il en est ainsi parce que le brillant voyage à la surface lorsque nous remuons la tête. C'est sur cette particularité que repose en grande partie l'essence du brillant. Mais le même effet se produit lorsque nous regardons les images précitées qu'un œil voit en blanc et que l'autre œil aperçoit simultanément en noir. Il ne se forme point là de mélange en un gris uniforme; il se forme au contraire une espèce de *lutte d'émulation* entre les champs visuels, de façon qu'une fois le clair prédomine et l'autre fois l'obscur, qui évoquent ainsi la perception du brillant. Tandis que l'alternance du clair et de l'obscur sur le même point de la rétine fait naître un papillo-

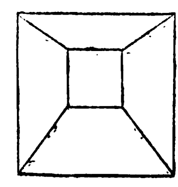



Fig. 45.

tage désagréable, que nous avons expliqué par la fatigue, l'alternance dans la vision du clair et de l'obscur par les deux yeux, produit au contraire une sensation agréable en faisant naître le luisant. Il n'y a point, dans ce cas, excitation intermittente des rétines comme dans l'étincellement; notre attention se porte au contraire alternativement sur les deux champs visuels et c'est ce changement alternatif qui paraît nous être agréable. Le plaisir que nous procurent les objets brillants semble être inné à l'homme; il ne dure qu'autant que l'objet envoie à nos yeux ces rayons changeants; il cesse dès que la surface se polit complétement et nous renvoie comme miroir, la vérité nue.

Le brillant est rendu très-fidèlement et d'une manière frappante par les épreuves photographiques pour stéréoscope. Le

reflet du soleil couchant à la surface de la mer ondulée, le brillant des colonnes de marbre, tout apparaît sur l'image stéréoscopique comme dans la nature, et cependant nous ne voyons à l'œil nu sur les images isolées rien autre chose que des endroits clairs et obscurs qui ne peuvent jamais produire l'impression du brillant. Mais si nous y faisons attention, nous verrons sur l'une des images des endroits clairs qui, sur l'autre image, paraissent au contraire obscurs. C'est la combinaison de ces deux apparences qui produit le brillant.

L'antagonisme des champs visuels dont nous avons parlé plus haut, apparaît encore plus évident, lorsqu'au lieu de blanc et de noir nous présentons aux yeux, dans les mêmes conditions, deux couleurs comme le rouge et le bleu. Nous ne voyons point alors une couleur composée, comme on pourrait le supposer, mais une espèce de brouillard vacillant entre les deux couleurs et se déplaçant çà et là. Quelquefois cependant la couleur composée surgit de temps en temps à certains endroits et le tout prend alors un aspect un peu brillant.

On peut aussi faire naître cet antagonisme des champs visuels, en regardant une surface blanche, à travers deux verres superposés de couleurs différentes. Il n'y a point de régularité dans le changement des couleurs, et l'une ou l'autre couleur se présente comme une île au milieu de l'autre, sans aucune fixité. Quelques observateurs prétendent cependant pouvoir voir, à volonté, l'une ou l'autre des couleurs, d'où il résulterait que l'on est capable, dans certains cas, de fixer son attention plus particulièrement sur l'image rétinienne de droite ou sur celle de gauche.

Malgré les considérations précédentes, qui contribuent à donner quelques éclaircissements, la réunion des deux images rétiniennes reste cependant un des phénomènes les plus merveilleux du monde des sens. Nous sommes obligés de nous contenter actuellement de poser les conditions physiques et physiologiques qui le produisent. La représentation du monde matériel est un procédé de l'intelligence qui se passe dans le cerveau et qui, en cette qualité, se soustraira encore longtemps à nos hypothèses scientifiques.

CHAPITRE NEUVIÈME

ILLUSIONS D'OPTIQUE. — GRANDEUR APPARENTE DE LA LUNE. — INTUITION. — ILLUSIONS DU SENS DES COULEURS. — L'AME ET LA PERCEPTION DES SENS.

Quelque parfait que soit l'appareil optique dont la nature nous a doués, il arrive cependant des circonstances dans lesquelles nous voyons les choses autrement qu'elles ne sont en réalité. Nous appelons ces fausses apparences des *illusions d'optique :* elles sont d'autant plus intéressantes qu'elles nous permettent de jeter quelques regards dans l'acte de la perception.

Nous reconnaissons habituellement avec assez de précision si deux lignes sont parallèles. Zöllner a cependant remarqué que nous sommes soumis à une singulière illusion lorsque les parallèles sont croisées par de petites lignes obliques, inclinées l'une vers l'autre, comme le montre la figure 46.

Les lignes 2 et 3 semblent, pour l'œil non prévenu, diverger vers la base et les lignes 1 et 2 semblent au contraire diverger vers le haut, et cependant elles sont toutes parallèles comme on peut s'en assurer par une mensuration exacte. Les lignes obliques de 2 et 3 se couperaient en bas si elles étaient prolongées et c'est en conséquence de ce fait que les parallèles nous semblent devoir se couper en haut. La convergence ap-

parente des parallèles est par conséquent toujours opposée à la convergence des lignes obliques.

On peut invoquer pour expliquer ce phénomène que notre jugement est induit en erreur par les lignes obliques et nous concluons que puisque les lignes obliques se coupent en bas les parallèles devront se couper en haut. Du reste l'illusion devient encore plus forte si nous mettons les parallèles dans une position horizontale.

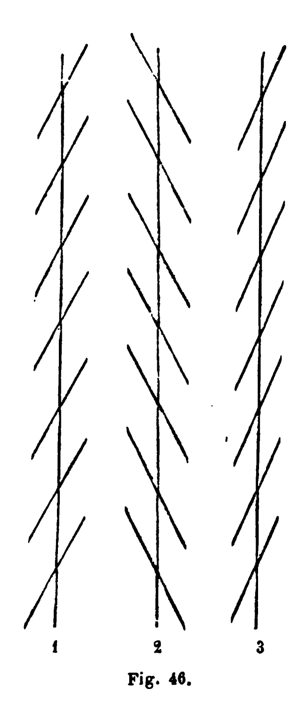


Fig. 46.

Ce sont aussi des erreurs de jugement qui, dans certains cas, produisent un mouvement apparent des objets. Tout le monde connaît le vertige qui se produit après une rotation rapide de notre corps. Lorsqu'on reste alors tranquille, les objets semblent pendant un certain temps se mouvoir dans le sens opposé. On observe quelque chose d'analogue lorsqu'on voit passer rapidement une série d'objets devant un fond immobile. Lorsqu'on regarde, par exemple, une cataracte à travers laquelle on aperçoit les rochers, on éprouve tout à coup une illusion et les rochers nous paraissent monter.

Dans tous ces cas nous transportons une partie de la vitesse du corps en mouvement à celui qui est en repos et, ce qu'il y a de singulier, dans une direction opposée. Cette apparition devient encore plus frappante lorsque nous sommes assis dans un convoi de chemin de fer en arrêt et que nous observons un train qui passe. Nous éprouvons alors fréquemment une sensation comme si nous étions nous-même en marche et le convoi en repos, et ce n'est qu'en jetant un coup d'œil à travers l'autre fenêtre et en voyant les objets en repos que nous pouvons nous débarrasser de notre illusion. Dans ce cas nous transportons

toute la vitesse du convoi en marche sur nous-même et nous obtenons par là la sensation du mouvement.

Il paraît que les mouvements de nos yeux jouent un certain rôle dans quelques-unes de ces illusions. Lorsque nous regardons la figure de Zöllner, nos yeux, en regardant les lignes obliques, peuvent très-facilement sortir de leur position normale et prendre une position oblique, de façon que l'axe vertical devient lui-même un peu oblique et ce fait peut contribuer à troubler notre jugement sur la position des parallèles. Pour étayer cette opinion, Helmholtz rappelle que cette illusion manque ou est considérablement affaiblie par un éclairage subit de lumière électrique, parce qu'alors l'instant où nous pouvons voir est tellement court que nous ne pouvons pas faire de mouvement avec les yeux.

Les mouvements oculaires peuvent aussi jouer un rôle dans le vertige de rotation. Car pendant que nous tournons, l'œil cherche à maintenir pendant quelque temps la vue d'un objet, et passe, lorsque nous nous tournons encore plus, par un mouvement saccadé, sur l'objet suivant. Il se produit ainsi des mouvements saccadés de l'œil qui durent encore quelques secondes après la cessation du mouvement tournant, et ce sont probablement ces mouvements oculaires qui produisent le mouvement apparent des objets. En tous cas, tous les mouvements de l'œil, qui ne sont point exécutés par notre volonté et par notre conscience au moyen des muscles oculaires, produisent tous un mouvement apparent dans les objets. Ceci se produit par exemple dans les mouvements saccadés et morbides de l'œil qui font alors naître le vertige. Nous remarquons encore un mouvement analogue des objets lorsque nous dérangeons passivement l'œil au moyen de notre doigt et que nous le faisons aller çà et là. Les objets se meuvent alors dans un sens opposé à celui du mouvement de l'œil, parce que nous n'avons pas la conscience que le globe oculaire se meut dans un autre sens.

Un phénomène analogue semble se produire quand nous observons longtemps des objets mobiles. Lorsque nous regar-

dons une cataracte notre œil cherche à suivre pendant quelque temps les masses d'eau et, lorsque nous faisons remonter le regard, l'œil est pris de mouvements saccadés. Si ces mouvements persistent pendant quelque temps, les objets fixes semblent se mouvoir en haut parce que nous n'avons aucune conscience des mouvements saccadés de l'œil qui sont dirigés vers le bas.

Dans beaucoup de circonstances notre jugement est aussi induit en erreur sur la direction soit horizontale, soit ascendante ou descendante. Lorsque nous marchons, par exemple, sur une route peu inclinée *b* (fig. 47) et que nous voyons à quelque distance une autre route inclinée *a* qui se rencontre avec *b*, nous jugeons la montée de *a* beaucoup plus forte qu'elle ne

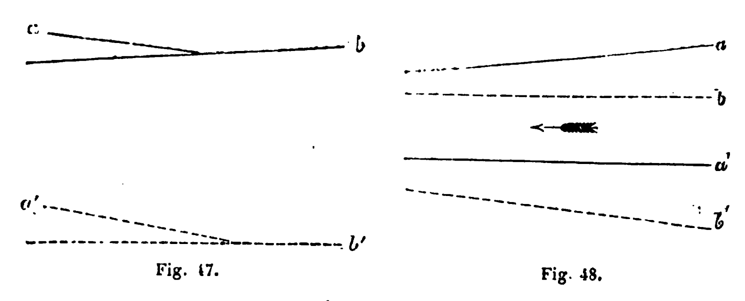


Fig. 47. Fig. 48.

l'est réellement et nous sommes tout étonnés de la trouver moins escarpée que nous le croyions. Cette illusion semble provenir de ce que nous considérons la route *b* sur laquelle nous marchons comme une ligne fixe, d'après laquelle nous jugeons la montée de la route *a*. Nous identifions donc dans notre idée la route *b* avec un plan horizontal, qui est considéré par nous comme une position normale, et c'est pour ce motif que la route *b* semble être plus escarpée dans notre idée, comme on peut en juger d'après la ligne ponctuée *a' b'*.

Une autre illusion étonnante que nous éprouvons souvent quand nous voyageons dans un pays de montagnes, consiste à croire qu'un ruisseau, contrairement aux lois de la pesanteur, coule en montant.

Lorsque nous descendons sur une route doucement inclinée

a et que sur les côtés de la route se trouve un ruisseau *b* (fig. 48) qui a une chute moins forte que la route ou qui occupe une situation presque horizontale, il nous paraît souvent que ce ruisseau coule vers le sommet de la montagne dans la direction de la flèche. Dans ce cas aussi nous prenons la route pour un plan horizontal, parce que nous sommes habitués à la considérer comme une plaine fixe d'après laquelle nous jugeons toutes les autres positions. C'est pour ce motif que le ruisseau prend dans notre imagination une direction ascendante comme le montre la figure *a' b'*. L'illusion devient encore plus forte lorsqu'il s'agit d'une conduite d'eau ou canal croisant une route descendante : on s'imagine alors que l'eau coule contre mont.

Notre jugement sur la grandeur des objets est aussi sujet à des erreurs multiples dans diverses circonstances. Il est une plaisanterie très-connue qui consiste à faire marquer par une personne sur une muraille la hauteur qu'atteindrait un chapeau cylindrique posé à terre. Lorsqu'on place alors le chapeau on s'aperçoit qu'il est beaucoup moins haut qu'on ne le pensait. Cette illusion résulte de ce que nous voyons la muraille en raccourci du côté du plancher, et qu'au contraire nous gardons en mémoire la hauteur réelle du chapeau; nous égalons donc une trop grande portion de la muraille à la hauteur du chapeau. Nous sommes aussi privés d'une mesure pour juger les distances sur une surface illimitée et uniforme comme la muraille et nous remarquons que toujours, dans ces cas, nous jugeons les distances plus grandes qu'elles ne le sont en réalité. L'illusion devient beaucoup moins forte, lorsque la muraille est tapissée et que nous y remarquons des lignes qui peuvent nous guider.

Nous pouvons donner une forme plus exacte à ces observations, en procédant de la façon suivante. Prenons deux carrés égaux composés de lignes parallèles (fig. 49) : pour l'un de ces carrés les lignes seront verticales, pour l'autre au contraire horizontales. Le carré à lignes horizontales paraîtra, à un œil non prévenu, être plus haut que large comme l'indique la

figure *a;* le carré à lignes verticales, figure *b*, lui paraîtra au contraire plus large que haut, et tous les deux sembleront renfermer une surface plus grande qu'un carré aussi grand, mais vide. Notre jugement trouve un guide pour l'appréciation de la grandeur dans l'intervalle qui sépare les lignes, et en additionnant ces intervalles nous obtenons une somme de grandeurs que nous n'obtenons pas lorsque nous dirigeons nos yeux le long des lignes. Mais la somme de ces parties nous semble plus grande que l'entier, parce que nous connaissons la grandeur de chacune des parties, tandis que l'entier nous laisse indécis et ne produit point une impression aussi vive de son contenu sur notre conception. Il nous semble donc que le carré vide ne saurait contenir les deux autres quoiqu'ils soient tous de grandeur égale.

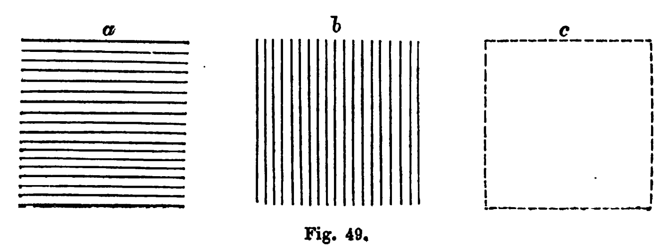


Fig. 49.

Notre mensuration oculaire est fréquemment induite en erreur lorsque nous l'employons dans des circonstances pour lesquelles nous n'avons point acquis d'expérience. Lorsque nous voyons, par exemple, à une courte distance devant nous une petite colline dont le faîte se dessine nettement sur le ciel et que nous y apercevons des personnes qui se projettent sur l'horizon, ces personnes nous paraissent fréquemment d'une taille gigantesque, tandis que, vues de près, elles n'ont qu'une taille très-ordinaire. Notre jugement est, dans ce cas, dévié, parce que les personnes se projettent à l'horizon et comme, d'après notre expérience habituelle, les objets situés à l'horizon sont à une distance relativement considérable, nous sommes habitués à tenir compte de cette distance dans l'évaluation de la grandeur, et nous attribuons toujours une grandeur consi-

dérable aux objets situés à l'horizon. Cette accoutumance journalière nous conduit à un jugement faux lorsque les circonstances changent, et à supposer que les personnes sont à une distance plus considérable qu'elles ne le sont réellement.

On demande fréquemment à diverses personnes de quelle grandeur leur paraît être la lune au firmament. L'une répondra qu'elle est grande comme une assiette, l'autre, comme une pièce de cinq francs, la troisième dira même que cet astre n'est pas plus grand qu'un décime.

Il est évident que la question comme les réponses n'ont point de sens véritablement scientifique. Car celui qui sait que la lune est une très-grande sphère de 782 lieues de diamètre, située à 68,000 lieues de distance de la terre, ne comparera jamais cet astre avec des objets situés sur la terre, mais se représentera toujours une très-grande sphère très-éloignée de la terre. Mais l'œil non prévenu transporte toutes les distances des astres sur une même surface que l'on s'imagine être suspendue sur le globe terrestre comme une voûte. Nous attribuons à cette voûte la forme d'une cloche un peu surbaissée, recouvrant l'horizon de façon que la distance zénithale nous paraît plus courte que la distance jusqu'à l'horizon, mais nous ne nous faisons point une idée nette de ces distances. Il paraît que la disposition momentanée de notre esprit et notre conception individuelle jouent un grand rôle dans cette évaluation et c'est à ces causes qu'il faut rapporter la grandeur apparente que nous attribuons à la lune. Si nous pratiquons dans une feuille de papier une ouverture de la grandeur d'un décime, nous pourrons parfaitement voir la lune dans son entier à travers cette ouverture, lorsque nous éloignerons le papier, à la distance de quelques pas de nos yeux. Une ouverture de la grandeur d'une assiette devra être au moins éloignée de quelques centaines de pas pour que la lune en remplisse exactement la superficie. Nous pouvons donc comparer très-arbitrairement la grandeur apparente de la lune à celle de divers objets.

Mais une autre circonstance, non soumise à l'arbitraire, mé-

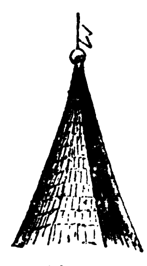
rite d'être examinée au point de vue scientifique. Nous remarquons en effet que la lune nous paraît décidément plus grande lorsqu'elle est près de l'horizon, au moment de son lever ou de son coucher, que lorsqu'elle est très-élevée dans le firmament. Il ne s'agit pas seulement dans ce cas de la réfraction des rayons lumineux à travers des couches d'air de densité différente : il se produit, en effet, à l'horizon une espèce d'élévation apparente des astres qui fait paraître la lune et le soleil un peu aplatis dans la direction perpendiculaire, mais il ne peut se produire, par la réfraction, un agrandissement de leur diamètre apparent.

Nous pouvons admettre deux causes comme capables de produire cette illusion. La première, c'est que le firmament nous apparaît sous la forme d'une cloche ellipsoïdale. Nous jugeons par là que ses bords à l'horizon sont plus éloignés de nous que les points les plus élevés au zénith, et puisque nous nous imaginons que la lune se trouve à la surface de cette voûte, nous la croyons plus éloignée de nous lorsqu'elle est à l'horizon que lorsqu'elle est au zénith. Mais nous savons par expérience que plus un objet est éloigné de nous, plus il nous paraît petit; plus au contraire un objet situé à l'horizon nous semble grand, plus sa grandeur réelle nous paraîtra considérable. Et comme la lune nous semble plus éloignée à l'horizon qu'au zénith et que sa grandeur apparente reste malgré cela la même, nous jugeons sa grandeur réelle à l'horizon plus considérable qu'au zénith.

Une seconde cause productrice de cette erreur, c'est que nous comparons la lune à l'horizon avec des objets situés sur terre. Lorsqu'elle se trouve, par exemple, à côté d'une maison que nous apercevons à l'horizon, cet astre occupe un espace beaucoup plus grand que celle-ci, et involontairement nous nous demandons quelle serait la grandeur de l'astre s'il était réellement à côté de la maison. Nous acquérons ainsi l'idée d'une grandeur que nous pouvons apprécier, grandeur très-considérable pour les objets terrestres. Nous ne pouvons établir aucune comparaison de ce genre lorsque la lune est au

zénith, et comme l'espace qu'elle occupe au firmament est très minime, comparativement à toute la surface céleste, nous sommes portés à la comparer à des objets plus petits.

Beaucoup d'erreurs d'optique s'expliquent parce que nous ne trouvons pas de motifs pour guider notre jugement. L'imagination se mêle alors à nos impressions et produit fréquemment des illusions spéciales. Lorsque nous voyons par exemple, au haut d'une tour, une girouette dans la position représentée par la figure 50, nous n'avons souvent pas de marque certaine pour décider si cette giroutte est dirigée vers nous ou si elle est dirigée en sens contraire. En regardant le dessin nous pouvons, à volonté, lui faire prendre l'une ou l'autre de ces posi-



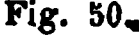


Fig. 50.

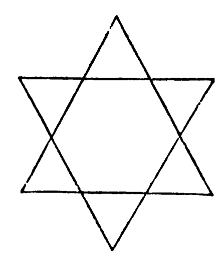


Fig. 51.

tions. Certaines circonstances secondaires, telles que l'éclairage ou le mouvement du guidon, nous permettront fréquemment d'en trouver la position réelle; mais si ces caractères viennent à nous manquer, nous restons dans le doute, ou bien nous lui attribuons volontairement l'une ou l'autre des positions. Ce phénomène ne se produit naturellement que lorsque nous sommes à une distance assez éloignée de la girouette pour ne pas pouvoir apprécier les distances relatives, par rapport à nous, de la hampe et du bord externe du guidon qui sont opposées dans les deux positions.

Lorsque, dans des cas semblables, l'appréciation de ce que nous voyons peut donner naissance à plusieurs interprétations, notre intelligence en admet une de préférence et néglige les autres. Nous pouvons cependant, à volonté, accepter successi-

vement toutes ces interprétations. L'exemple suivant peut servir à élucider cette propriété. La figure 51 peut être comprise de deux façons : d'abord comme deux triangles équilatéraux se coupant par les côtés. Cette façon de comprendre la figure est peut-être la plus commune. Mais on peut aussi la considérer comme étant formée d'un hexagone dont chaque côté est surmonté d'un petit triangle. La figure fait une impression différente dans chacun des deux cas, puisque nous nous imaginons qu'elle a été construite d'une autre manière.

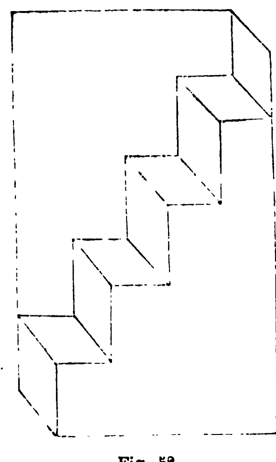


Fig. 52.

Il en est de même de la figure 52. Nous pouvons en effet nous imaginer qu'elle représente le contour d'un escalier montant le long d'une muraille; mais nous pouvons aussi croire qu'elle représente un pan de muraille surplombant qui présente inférieurement un contour en escalier. Nous pouvons arbitrairement faire succéder l'une de ces impressions à l'autre.

Nous éprouvons aussi des illusions au point de vue des couleurs, illusions qui sont produites par des erreurs de jugement. Prenez un papier vert et collez-y un petit carré de papier blanc : recouvrez le tout d'une feuille de papier de soie mince, blanc et assez transparent pour que la feuille inférieure puisse paraître au travers. Le petit carré paraîtra alors manifestement coloré en rouge, pendant que le reste de la surface paraîtra blanchâtre. Lorsque l'on montre cette préparation à une personne non prévenue et qui ne sait pas ce qui se trouve sous le papier blanc, elle croira que le carré est vraiment rouge et ne reconnaîtra presque pas la teinte verdâtre du fond. Dans les mêmes circonstances un carré blanc sur fond rouge paraîtra vert, un carré blanc sur fond bleu paraîtra jaune et réciproquement.

On pourrait s'imaginer avoir affaire, dans ces cas, à un phé-

nomène de contraste ordinaire qui, comme on le sait, se produit lorsqu'on a regardé pendant un certain temps une surface colorée et qu'on regarde ensuite une surface blanche. Il est vrai qu'une surface blanche nous paraît rougeâtre lorsque nous avons fatigué la rétine par la vue d'une surface verte ou réciproquement. Mais, dans le cas cité, il n'y a point eu fatigue puisque la surface la plus étendue est si peu perceptible que nous avons peine à reconnaître sa couleur et que par conséquent l'œil ne peut être fatigué par cette coloration. Lorsqu'on enlève le papier recouvrant nous reconnaissons immédiatement que le carré est blanc, quoique la fatigue devienne alors plus forte puisque nous voyons le fond coloré.

Les phénomènes de cette nature ont été nommés par Helmholtz *contrastes simultanés*. Ils s'expliquent par l'erreur commise par notre jugement sur ce que nous appelons blanc. Nous considérons comme blanc tout corps qui réfléchit tous les rayons colorés dans le même rapport que ces rayons sont contenus dans la lumière solaire. Mais nous nous habituons à de petites modifications dans ce rapport et nous considérons aussi ces petites nuances comme étant du blanc. C'est ce qui arrive dans le cas cité, où nous prenons pour du blanc une surface colorée recouverte de papier blanc. Il en résulte que nous ne prenons pas le blanc du petit carré pour du blanc véritable mais pour du blanc nuancé par la couleur contrastante.

Il est très-probable que la qualité de la lumière que nous appelons blanche ne resterait pas la même, si le rapport des couleurs se modifiait dans la lumière solaire, et comme nous supposons que le soleil et sa lumière ne sont pas invariables pour des temps infinis, il serait possible que nos descendants éloignés possédassent une tout autre sensation du blanc que nous.

C'est par les illusions d'optique et aussi par celles des autres sens que nous pouvons le mieux reconnaître le grand rôle que l'activité de notre entendement joue dans les perceptions des sens, car l'entendement seul est capable de modifier nos sensations et de faire naître, dans certains cas, des illusions. On

reconnaît en outre que la sensation est transformée en perception par l'activité de notre âme. Car la sensation, c'est-à-dire l'excitation de l'organe des sens et le transport de cette excitation au cerveau, ne suppose pas que cette sensation est déjà liée à une perception des objets extérieurs. On a observé sur des animaux, surtout sur des pigeons auxquels on avait enlevé les deux lobes cérébraux et qui vécurent encore longtemps après, on a observé, dis-je, que ces animaux possédaient encore une sensation d'optique, car la lumière introduite dans l'œil y produisait une contraction de la pupille, phénomène qui ne peut s'exécuter que par l'intermédiaire du centre optique du cerveau. Mais il n'existe plus chez ces animaux la compréhension de ce qu'ils voient, c'est-à-dire qu'ils ne perçoivent plus. Ils se conduisent comme des animaux aveugles, se buttent à tous les obstacles et n'ont par conséquent plus la faculté de reconnaître ce qu'ils voient comme étant des objets extérieurs.

Nous sommes obligés d'admettre que les phénomènes se passent de même chez les hommes ; que la perception du monde extérieur est en dernier ressort une fonction de l'activité psychique qui réside dans notre cerveau, et que l'organe des sens livre pour ainsi dire uniquement à notre âme les matériaux que celle-ci transforme en perception.

LIVRE III

LE SENS DE L'OUIE

CHAPITRE PREMIER

STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ORGANE DE L'OUÏE. — LE SON CONSIDÉRÉ COMME TON, TIMBRE ET BRUIT. — INSTRUMENTS QUI PRODUISENT LE SON.

L'organe de l'ouïe n'est point aussi exposé aux regards que l'œil. Ce dernier organe dirige en effet plus de la moitié de sa superficie vers le monde extérieur, tandis que l'oreille et ses parties les plus essentielles sont cachées profondément dans l'intérieur de l'os du rocher. C'est la partie la moins importante de l'organe de l'ouïe, la conque de l'oreille, qui est seule exposée aux regards et qui a reçu, pour ce motif, dans le langage ordinaire le nom immérité d'oreille. La coutume barbare de l'ablation de la conque, usitée dans les temps anciens, et chez les peuples sauvages, montre jusqu'à l'évidence que la conque est un organe dont la privation n'empêche pas l'audition. La plupart des oiseaux ne possèdent pas d'oreille externe et ils possèdent cependant une ouïe très-fine et souvent très-musicale.

L'organisation de l'oreille, comparée à celle de l'œil, présente les mêmes relations que le champ visuel comparé au champ de l'audition. Le champ visuel est interrompu partout où un

corps opaque s'interpose, mais il s'étend dans un milieu transparent jusqu'à l'infini du ciel étoilé, et conformément à ces faits, les rayons lumineux pénètrent jusqu'au fond de l'œil presque en ligne droite. Le champ de nos perceptions auditives est au contraire bientôt limité, dans l'espace aérien du monde, par les distances; mais le son peut traverser les parois les plus épaisses et se transmettre par les voies les plus tortueuses, en sorte que l'oreille peut nous renseigner sur l'existence du monde extérieur, lors même que nous sommes enfoncés dans les galeries souterraines de la terre où aucun rayon de lumière ne peut pénétrer. Les parties internes de l'oreille sont, pour

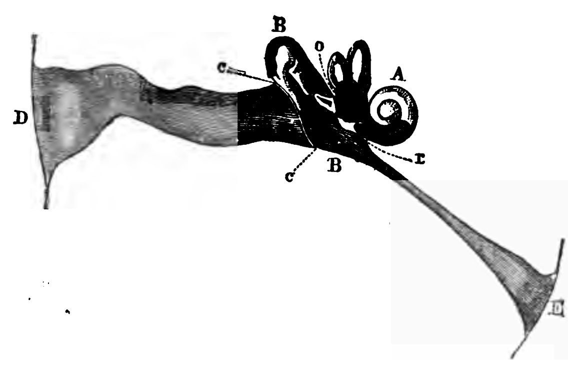


Fig. 53. — D, conduit auditif. — B, cavité tympanique. — E, Trompe d'Eustache. — A, Labyrinthe. — cc, membrane du tympan. — o, fenêtre ovale. — r, fenêtre ronde.

ainsi dire, cachées de même dans les galeries creuses d'un os du crâne qui est muni d'un grand nombre de conduits labyrinthiformes très-remarquables. Le son arrive à ces organes internes non en ligne droite, mais en parcourant une voie très-ingénieusement construite et composée de tuyaux, de membranes et d'osselets.

La figure 53, tirée de l'ouvrage de Helmholtz, nous montre les principales parties de l'organe de l'ouïe de grandeur naturelles. Nous voyons en *D* le conduit auditif terminé intérieurement en *c c* par la membrane du tympan. Cette membrane est ronde et tendue obliquement : elle est suivie plus à l'intérieur d'une cavité remplie d'air que l'on a nommée la *cavité tympa-*

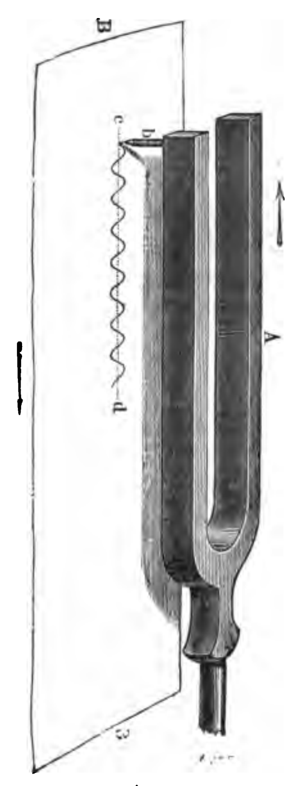
nique B, dont les parois sont osseuses. C'est dans cette cavité que l'on rencontre les osselets de l'ouïe au nombre de quatre, le marteau, l'enclume, le lenticulaire et l'étrier. La cavité possède une ouverture interne qui mène dans un canal, la trompe d'Eustache *E*, qui se dilate à la façon du pavillon d'une trompette et s'abouche dans la cavité pharyngienne. Sur la paroi interne de la cavité tympanique on rencontre deux ouvertures bouchées par une membrane : l'une de ces ouvertures est la *fenêtre ovale o*, qui reçoit l'insertion de la base de l'étrier, l'autre est la *fenêtre ronde r* dont la membrane est librement tendue.

C'est à travers ces deux fenêtres qu'on pénètre du côté interne dans le *labyrinthe A*, cavité osseuse singulièrement contournée, dont les parois sont tapissées de membranes et d'organes très-remarquables et dont l'intérieur est rempli par le liquide labyrinthique. On distingue deux parties dans le labyrinthe, d'un côté le *limaçon* et de l'autre les *canaux semi-circulaires*.

Après avoir jeté ce coup d'œil rapide sur les parties essentielles de l'oreille, nous reconnaissons déjà que le conduit auditif, la membrane du tympan, la cavité tympanique et ses osselets ne peuvent servir à autre chose qu'à saisir le son et à le propager à l'intérieur ; que ce son est alors communiqué au liquide labyrinthique et que l'action physiologique de l'audition ne se produira que dans le labyrinthe où les appareils conducteurs se terminent en revenant, pour ainsi dire, sur eux-mêmes. C'est en effet dans le labyrinthe que pénètre le nerf acoustique après avoir traversé la masse osseuse, et qu'il s'unit à des organes terminaux très-remarquablement constitués : ce nerf transforme alors le son brut en sensation vivante.

Quoique le son ne puisse être perçu que par l'excitation de nos organes auditifs, son origine dans la nature et les principales circonstances de sa production ont été reconnues par les physiciens longtemps avant que l'on connût les phénomènes qui se produisent dans l'oreille interne. L'acoustique physique est, sous ce rapport, tout aussi indépendante de nos connais-

sances physiologiques que l'optique : car on est arrivé pour cette dernière à la théorie des ondulations avant de connaître quelque chose de précis sur la structure de la rétine ou sur l'excitation nerveuse. Il est même nécessaire de constater que l'étude absolument objective du son et de la lumière devait infailliblement précéder les observations physiologiques sur les fonctions des organes des sens, et l'on a pu fréquemment constater alors que beaucoup d'instruments et d'appareils péniblement inventés dans le cours des siècles par la pensée humaine, avaient été créés par la nature avec la perfection la plus grande dans les organes des sens. L'étude physique est cependant arrivée dans ces dernières décades à une limite où les études physiologiques deviennent nécessaires pour la compléter et pour lui fournir des aliments, où elle puisera les matériaux de nouvelles recherches.


Fig. 54.

Parmi les sensations produites par le son il en est une qui se distingue de toutes les autres et qui possède un caractère tout à fait spécial. C'est cette sensation musicale qui nous fait distinguer le *ton* et le *timbre*. Toutes les autres sensations auditives qui ne possèdent point ce caractère peuvent être désignées sous le nom de *bruit*. Un ton se produit toutes les fois qu'un corps élastique est mis en vibrations rapides. Lorsque nous pinçons, par exemple, à l'une de ses extrémités, une lame de métal ou une aiguille à tricoter et que nous frappons sur l'extrémité libre, nous les voyons entrer en vibration et cette vibration est accompagnée d'un ton ou d'un

frémissement d'autant plus aigu que le corps vibrant est plus court. Le ton d'un diapason se produit de la même façon. Représentons-nous le diapason de la figure 54 en vibration. A chaque vibration les branches de cet instrument se rapprochent et s'éloignent l'une de l'autre, phénomène que l'on n'aperçoit pas sur les diapasons destinés à la musique, parce que les vibrations sont trop petites et trop rapides pour que notre œil puisse les saisir. Mais on peut, pour ainsi dire, les mar-

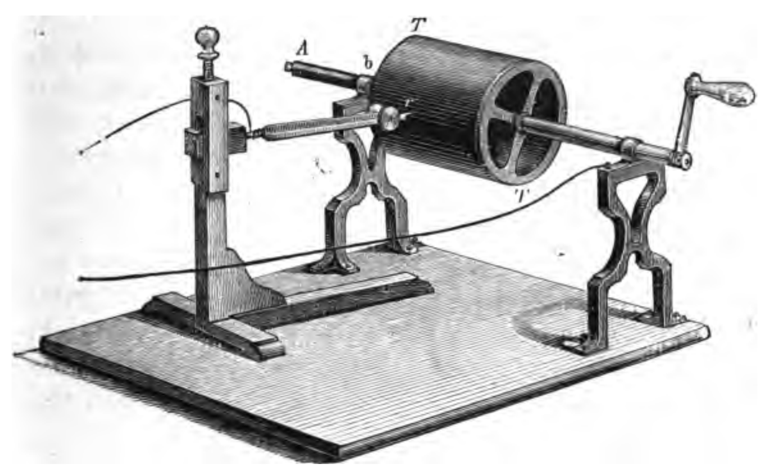


Fig. 55.

quer par un procédé particulier, en fixant à l'une des branches un stylet *b*, qui trace des marques sur une plaque *B B* que l'on fait rapidement glisser derrière le stylet. La figure 55 montre un appareil, appelé le *phonautographe*, au moyen duquel on peut facilement faire ces expériences. Le diapason porte un stylet *r* touchant un tambour couvert d'un papier enduit de suie et que l'on fait tourner rapidement au moyen d'une manivelle. Une vis *A* fait continuellement avancer le tambour pendant sa rotation. Deux fils métalliques, reliés, l'un au diapason, l'autre au tambour, communiquent avec une puissante machine à induction. Cette machine est réglée par un appareil d'horlogerie et fournit, toutes les secondes, une étincelle élec-

trique qui perce le papier couvert de suie : on peut donc alors facilement calculer le nombre de vibrations produites en une seconde.

Les physiciens allemands[1] sont convenus d'appeler vibration une allée et une venue du corps vibrant, en sorte qu'une vibration dessine une ligne ondulée ascendante d'un côté et descendante de l'autre. Le corps sorti du repos fait une *excursion* ou *élongation* d'un côté, traverse ensuite le point de repos, se dirige de l'autre côté et retourne au point de repos d'où le mouvement se répète périodiquement dans la même direction. Au point de vue du temps on appelle aussi l'ensemble d'une allée et d'une venue, une *période de vibration*, et au point de vue de la distance parcourue, l'*amplitude*.

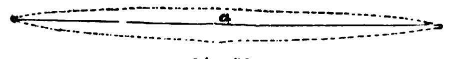


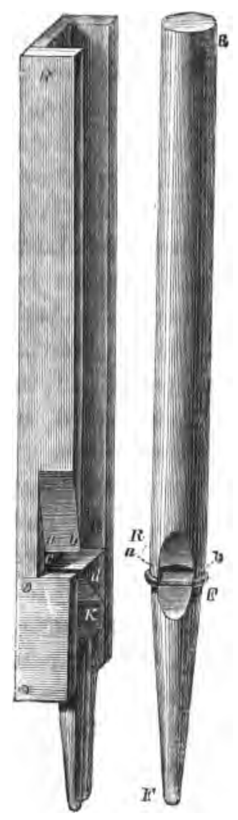
Fig. 56.

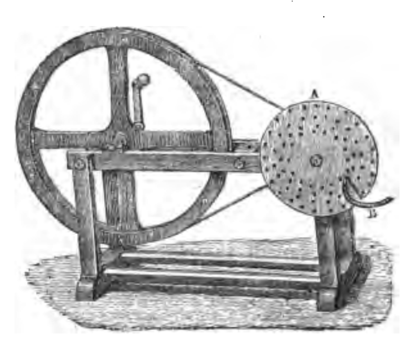
Les tons se produisent toujours par un procédé semblable dans tous les instruments qui en font naître. La corde qui produit le ton dans les pianos ou dans les instruments à cordes vibre comme le montre la figure 56, en passant d'abord d'un côté puis de l'autre : une plaque de verre et une cloche résonnent également, lorsqu'on les frappe, parce que leurs molécules exécutent des vibrations perpendiculaires à la surface. Ces dernières vibrations, c'est-à-dire celles qui se font perpendiculairement à la longueur du corps, ou pour mieux dire perpendiculairement à la direction de la transmission, sont désignées par le nom de *vibrations transversales*. Les vibrations longitudinales peuvent aussi produire des tons, par exemple les barres de fer que l'on frappe à leur extrémité ou les baguettes de bois qu'on frotte dans le sens de la longueur.

Dans les exemples cités jusqu'ici le ton est produit par les vibrations d'un corps solide et élastique. Mais un ton peut aussi

1. La plupart des physiciens français appellent vibrations une allée ou une venue du corps vibrant : de sorte que les vibrations françaises sont égales à la moitié seulement des vibrations allemandes ou anglaises.

se produire lorsque l'air est immédiatement mis en vibration, lorsque nous soufflons, par exemple, dans une sphère creuse, dans une bouteille ou dans un cylindre creux. Les tuyaux à courant d'air constituent des instruments de ce genre : on s'en sert comme flûtes ou comme tuyaux d'orgue. Deux de ces tuyaux d'orgue sont représentés dans la figure 57. L'air chassé par la soufflerie pénètre inférieurement dans la chambre *K* : de là il est dirigé par une pièce prismatique triangulaire *d* et à travers une fente étroite *c* vers la lèvre *a b* où elle choque l'air contenu dans le cylindre *RR* et le fait entrer en vibration. L'air, d'abord comprimé par le premier choc, se dilate ensuite, rejaillit contre le


Fig. 57.


Fig. 58.

courant aérien et est mis ainsi en vibrations périodiques composées de contractions et de dilatations alternatives.

Les vibrations sonores de l'air consistent généralement en dilatations et contractions alternant avec une grande rapidité et il en résulte toujours un ton lorsque ces vibrations se succèdent avec une périodicité régulière. On peut donc produire

un ton en interrompant rapidement et régulièrement un courant d'air continu. Seebeck a inventé un instrument de ce genre que l'on nomme *sirène* et dont nous voyons la forme la plus simple représentée par la figure 58. Elle consiste essentiellement en un disque percé d'une série de trous, disposés en cercle, et qui peut être mis en rotation rapide au moyen d'une manivelle. Un tuyau B amène un courant d'air continu sur les trous. Le ton qui en résulte est d'autant plus élevé que le nombre des trous est plus grand et la rotation du disque plus rapide. Chaque poussée d'air produit alors une vibration de l'air. La sirène nous fournit le moyen de préciser le nombre de vibrations produit par chaque ton particulier. Lorsque le disque est percé de quatre séries de trous, au nombre de 8, 10, 12 et 16, de la série intérieure à la série extérieure, nous entendons, lorsque nous faisons agir la soufflerie dans l'ordre indiqué, un accord que nous pouvons désigner par do, mi, sol, do′, si nous partons de do. Le timbre reste le même quelle que soit la rapidité de la rotation; le ton et l'acuité varient seuls avec la vitesse. Si nous avions un disque percé d'une série plus nombreuse de circonférences trouées, correspondant à toute une gamme, nous pourrions lui faire exécuter des mélodies complètes.

La production du ton dans cet instrument est fondée sur ce que l'air, sorti du tuyau, est subitement raréfié dès qu'un trou se présente devant l'ouverture du tuyau et au contraire rapidement condensé lorsque le trou a passé. Ce phénomène se propage alors sous forme d'onde sonore, à travers l'air, jusqu'à notre oreille.

Une forme plus parfaite de sirène, construite par Dove [1], nous est représentée par la figure 59. Le tuyau *BA* souffle une colonne d'air dans la chambre à air *AA*. Cette chambre est fermée par un couvercle dont la périphérie est percée d'un certain nombre de trous. Un disque *ss*, tournant sur un axe vertical et percé d'un nombre égal de trous obliques, se trouve placé immédiate-

1. L'idée première de cette sirène appartient à Cagnard-Latour.

ment au-dessus du couvercle. Les trous du couvercle peuvent eux-mêmes être percés obliquement, mais alors en sens contraire à ceux du disque tournant. Le courant d'air exerce une pression contre les parois des trous du disque mobile et met le disque en rotation : la vitesse de la rotation s'accroît alors graduellement. Les interruptions du courant produisent un ton dont l'acuité augmente peu à peu et nous donne la désagréable sensation d'un hurlement. Lorsqu'on met, au moyen de la poignée *h*, la roue dentée en contact avec le pas de vis *t*, cette roue est mise en mouvement et l'on peut lire sur le cadran *t* au moyen des aiguilles *zz* le parcours exécuté par la roue dentée : de là on déduit le nombre de poussées d'air ou, en d'autres termes, le nombre de vibrations exécutées par chaque ton en particulier.

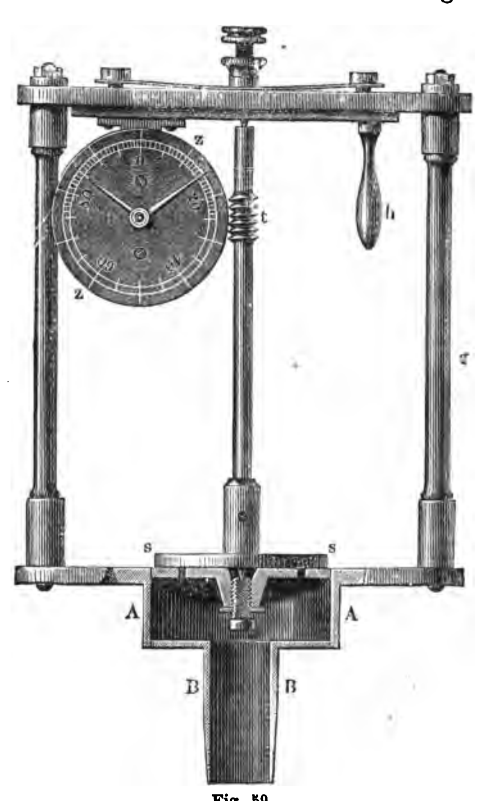


Fig. 59.

Dans certains instruments de musique on se sert encore d'un autre appareil pour produire des sons. Je veux parler de l'*anche* qui est employée dans l'orgue, la clarinette, le hautbois et le basson. Tandis que, pour les instruments examinés jusqu'ici, le ton est produit soit par les vibrations d'un corps solide comme la corde ou le diapason, soit par l'interruption

d'un courant d'air sans l'intermédiaire d'un corps solide mis en vibration comme la sirène, pour l'anche au contraire les deux modes de production du son se combinent et font naître ainsi un timbre tout particulier. Le corps solide et vibrant consiste pour cette sorte d'instruments dans une languette. C'est une bande métallique *zz* (fig. 60) fixée à l'une de ses extrémités et pouvant vibrer librement dans la fente *bb* d'un cadre *aa*. La languette forme la paroi d'une petite boîte fermée et allongée que l'on enferme dans la chambre à air (fig. 61). Le courant d'air introduit dans cette chambre par le tuyau inférieur, ne peut s'échapper que par la fente qui se trouve entre la languette et le petit cadre. Le premier choc de l'air repousse

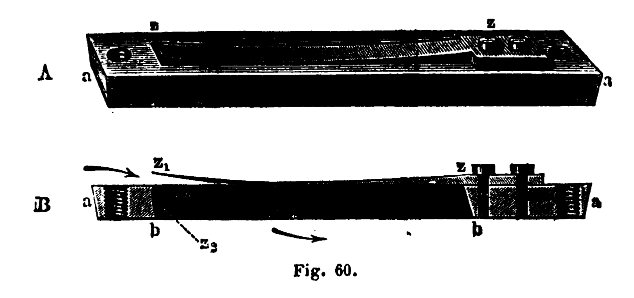


Fig. 60.

la languette au fond du cadre et l'air s'échappe par le tuyau supérieur auquel on adapte habituellement un pavillon en entonnoir. La languette, grâce à son élasticité, revient sur elle-même, couvre la fente, interrompt périodiquement le courant d'air par ses allées et ses venues et fait naître ainsi un ton dont l'acuité est déterminée par le nombre des vibrations de la languette. Dans quelques instruments on peut changer le ton au moyen d'un fil métallique que l'on peut faire changer de place et qui raccourcit ou rallonge ainsi la languette vibrante.

Les trompettes et les cors sont des instruments à vent où les lèvres du joueur remplacent le rôle de la languette. Les lèvres tendues sont mises en vibration tandis que l'instrument lui-même ne sert, pour ainsi dire, que de tuyau d'ajoutage et pro-

duit une résonnance considérable. Il faut, par conséquent, une habitude particulière pour jouer de ces instruments, puisqu'ils ne produisent pas le moindre son, même par le courant d'air le plus fort possible, lorsqu'on introduit leur embouchure complétement dans la bouche.

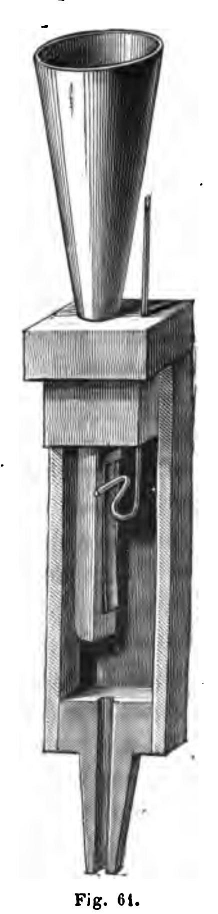


Fig. 61.

La structure du larynx humain en fait aussi un instrument à anche. Les languettes sont formées par les deux cordes vocales, membranes élastiques, bornant par leur bord libre une fente étroite. On a imité artificiellement le larynx en remplaçant les cordes vocales par deux lamelles de caoutchouc comme le montre la figure 62. Lorsqu'on souffle dans le tuyau qui doit représenter la trachée-artère, on obtient un son qui n'est pas très-différent de la voix humaine. Dans cette expérience les lamelles de caoutchouc s'écartent d'abord, agrandissent la fente, puis la referment en vertu de leur élasticité et produisent ainsi un courant d'air périodiquement interrompu. On a appelé l'instrument ainsi construit *larynx artificiel*.



Fig. 62.

CHAPITRE DEUXIÈME

AUDITION A TRAVERS L'AIR ET A TRAVERS LES OS DU CRANE. — LA CONQUE DE L'OREILLE ET LE CONDUIT AUDITIF. — CONNAISSANCE DE LA DIRECTION DU SON. — ORGANES PROTECTEURS DE L'OREILLE.

La sensation auditive ne commence véritablement qu'à la place où le nerf auditif s'étale dans le labyrinthe; avant ce point le phénomène ne consiste qu'en un transport des ondes sonores. Pour que l'audition puisse se faire il faut donc avant tout que le son soit transporté au labyrinthe, et surtout à la liqueur qui remplit cette cavité et dont les ondulations produisent une excitation sur l'appareil nerveux qui s'y étale. Le transport du son est habituellement effectué par l'air à travers le conduit auditif, la membrane du tympan et les osselets de l'ouïe jusqu'au labyrinthe. Chaque corps en vibration communique en effet ses vibrations à l'air, et celles-ci s'étendent circulairement, pendant que leur force diminue avec le carré de la distance du point d'origine. Ces vibrations consistent en dilatations et condensations de l'air qui se suivent comme les ondulations circulaires de l'eau et comme cela est représenté sur la figure 63. Mais le son peut aussi être transporté, sans l'intervention de l'air, par des corps solides et arriver ainsi au labyrinthe. Lorsque nous frappons légèrement un diapason et que nous le plaçons devant la bouche ouverte, nous ne l'entendons pas; mais dès que nous le touchons des dents, nous

percevons parfaitement le son qu'il produit et qui parvient directement au labyrinthe, par l'intermédiaire des os du crâne et sans passer par la membrane du tympan et les osselets de l'ouïe. Nous entendons de même tinter une montre que nous tenons entre les dents ou que nous appuyons sur les os du crâne immédiatement derrière l'oreille. On connaît en outre un jeu d'enfants où la conductibilité du son par les os

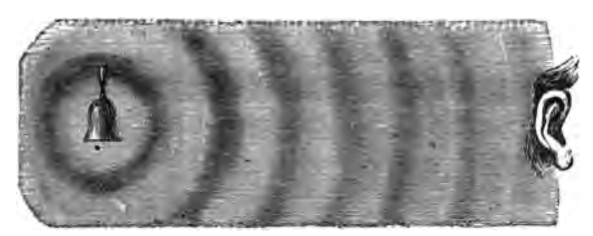


Fig. 63.

joue le principal rôle. Ce jeu consiste à suspendre une cuillère en métal à un fil enroulé autour de l'indicateur. Après avoir profondément introduit ce doigt dans le conduit auditif, on fait frapper la cuillère contre le bord d'une table et l'on croit alors entendre le son d'une cloche très-volumineuse parce que les vibrations sont transportées, avec une grande intensité, à travers le fil, le doigt et les os du crâne jusqu'au labyrinthe.

La conductibilité du son par les os se produit rarement chez l'homme, car nous ne mettons pas nos os en contact immédiat avec les corps résonnants. Chez les poissons au contraire ce mode de conductibilité joue un rôle très-important, puisque ces animaux n'ont ni oreille externe, ni conduit auditif, ni osselets et qu'ils ne possèdent qu'un labyrinthe complétement enveloppé de substance osseuse ou seulement recouvert par la peau en un endroit très-limité. Les ondes sonores de l'air se communiquent donc, à travers les os, directement au labyrinthe, et ce transport devient possible puisque les ondes sonores de l'eau, qui n'est point compressible comme on sait, se comportent comme les ondes sonores des corps solides et ne sont point

composées comme les ondes de l'air, de condensations et de raréfactions successives. Les ondes sonores de l'air se communiquent, au contraire, difficilement à des corps solides ou liquides ; il faut, pour atteindre ce but, des dispositions toutes spéciales qui ont atteint leur dernière perfection dans l'oreille humaine. Les poissons n'ont point besoin de ces dispositions car il leur suffit d'entendre ce qui se passe dans l'eau ; un appareil rempli d'air et se trouvant entre l'eau ambiante et le labyrinthe produirait au contraire chez ces animaux une dureté considérable de l'ouïe.

La conductibilité du son par les os peut cependant acquérir une grande importance chez l'homme dans certains cas de maladie. Lorsque les appareils conducteurs sont malades et ne remplissent plus leurs fonctions, il peut encore exister, malgré la surdité, une conductibilité par les os, et ce phénomène devient un signe diagnostic très-important pour le médecin, puisqu'il l'avertit que le labyrinthe et le nerf acoustique sont sains.

La conductibilité par l'air est donc le phénomène régulier dont nous avons à nous occuper. Ce phénomène commence au point où la conque recueille les sons et se termine par leur transmission au liquide labyrinthique. Nous rencontrerons sur ce chemin des appareils ingénieux qui intéressent vivement notre intelligence. Quoique beaucoup de phénomènes qui se passent pendant cette transmission ne nous soient encore que très-imparfaitement connus, les expériences de Helmholtz sur la membrane du tympan ont cependant jeté quelque lumière sur ces phénomènes et tracé une voie pour des recherches futures. Sans doute, nous ne manquerons pas de rencontrer dans ces recherches des phénomènes encore mystérieux, mais il en est ainsi pour toutes les recherches dans les sciences naturelles.

Lorsque nous examinons l'oreille externe de l'homme avec toutes ses saillies, ses gouttières et ses fossettes, nous nous imaginons facilement que la nature a créé toutes ces particularités pour des motifs déterminés, d'autant plus que la forme esthétique qui s'y joint fréquemment, indique ordinairement

que la nature y a attaché une certaine utilité. Il serait cependant difficile de soutenir scientifiquement une opinion de ce genre qui, il est vrai, avait autrefois un grand nombre de partisans. Nous arrivons au contraire à une opinion différente lorsque, comme cela se fait en physiologie, nous passons de l'homme aux animaux et que nous considérons les diverses formes que présente la conque de l'oreille dans la série.

La conque de l'oreille et le conduit auditif présentent sans contredit la forme d'un entonnoir; chez le cheval surtout, la conque est en effet un entonnoir véritable à parois assez unies. On peut facilement s'assurer de la remarquable intensité qu'un cornet acoustique en forme d'entonnoir communique au son : on n'a qu'à rouler un cornet de papier, à se l'introduire dans le conduit auditif et, pendant que l'on bouche l'autre oreille, écouter le bruissement universel qui existe dans l'air ou, mieux encore, en tâchant de percevoir le tic-tac d'une montre placée sur une table à une petite distance avec ou sans le cornet. Les ondes sonores saisies par la large ouverture du cornet, sont réfléchies à l'intérieur par les parois et par cela l'intensité de l'onde sonore, c'est-à-dire ses condensations et ses raréfactions s'accroissent d'une manière continue. Tandis que les oreilles du cheval remplissent à merveille cette tâche et la remplissent d'autant mieux qu'elles sont mobiles de tous côtés, les oreilles humaines paraissent au contraire peu aptes à faire ce service. D'abord elles s'éloignent beaucoup de la forme d'un entonnoir, car ce n'est que leur portion interne rattachée au conduit auditif, qui s'en rapproche un peu; puis la conque de l'homme est presque toujours immobile. Il existe cependant des muscles qui pourraient la tirer en haut, en arrière ou en avant. Mais peu d'hommes possèdent le pouvoir de faire mouvoir ces muscles, comme le faisait par exemple le célèbre physiologiste Jean Müller; aussi considère-t-on la faculté de faire mouvoir les oreilles, comme un grand tour d'adresse.

Nous pouvons expliquer ce manque de mobilité en admettant que les mouvements de la conque n'ont point une grande

utilité, que nous n'avons par conséquent pas de motifs de nous exercer à les exécuter et que finalement la volonté perd son influence sur les muscles qui les produisent. Cet enchaînement de phénomènes nous montre le peu d'importance de la conque humaine, comme cornet acoustique : mais on peut encore s'en convaincre plus amplement en introduisant un petit tuyau dans le conduit auditif. On couvre alors pour ainsi dire uniformément toute l'oreille avec une masse pâteuse, et cependant la finesse de l'ouïe n'est pas sensiblement affaiblie.

Cependant la conque de l'oreille n'est point tout à fait sans influence, car lorsque nous l'agrandissons artificiellement en tenant derrière elle notre main courbée, son influence devient manifeste : c'est pour cela que les personnes à ouïe dure tâchent d'aider ainsi leur ouïe. On a, pour ce motif, cherché si l'angle que fait la conque de l'oreille avec les parois du crâne, n'aurait point quelque influence sur la finesse de l'ouïe et l'on a trouvé qu'un angle de 40 degrés serait le plus favorable pour l'audition. La plupart des hommes renonceraient facilement, pour des motifs esthétiques, à posséder un angle de cette ampleur, d'autant plus que le rapprochement de l'oreille à la tête ou son éloignement ne produit pas une différence bien remarquable dans la finesse de l'ouïe. On a aussi soutenu que la conque de l'oreille, étant composée d'un cartilage élastique, est apte à recevoir les ondes sonores et de les conduire à travers sa masse jusqu'au conduit auditif et à la membrane du tympan, et que c'est pour ce motif que sa surface est agrandie par des plis si nombreux. Un tel rôle ne peut qu'être très-insignifiant, car lorsque nous bouchons nos oreilles avec de la cire à cacheter, nous nous rendons complétement sourds, et la conque ne nous amène aucun son perceptible. Nous n'entendons pas non plus le tic-tac d'une montre appliquée contre la conque lorsque le conduit auditif est bouché, tandis que si nous l'appliquons sur la saillie osseuse située derrière la conque nous percevons très-bien ce tic-tac. Nous sommes donc obligés d'admettre que la conque de l'oreille est un très-mauvais conducteur du son.

On s'est encore posé la question de savoir si la conque peut

servir à reconnaîtrela direction du son. Nous pouvons juger de la direction du son, mais on sait aussi par expérience que nous sommes souvent sujets à de nombreuses illusions sous ce rapport. Nous reconnaissons en effet l'endroit d'où part l'onde sonore parce que nous savons que le son est plus fortement perçu lorsque notre conduit auditif est tourné directement vers la source du son. C'est ainsi que nous tournons la tête dans diverses directions, jusqu'à ce que notre oreille entende le son avec le plus d'intensité. *Une* seule de nos oreilles est active dans ce cas et il faut que le son se prolonge pendant quelque temps pour que nous puissions l'apprécier. Mais très-souvent nous reconnaissons immédiatement la direction du son à l'aide de nos deux oreilles, sans faire d'essais, parce que l'oreille dirigée du côté du son l'entend avec plus de force que l'oreille opposée. Dans ce dernier cas, l'audition par les deux oreilles joue un rôle important que nous pouvons, en quelque sorte, comparer à la vision binoculaire; à cette différence près, qu'il ne s'agit point d'apprécier une distance, mais simplement une direction. De même que nous sommes obligés d'avoir égard aux mouvements de la tête dans la vision avec un seul œil, de même aussi nous sommes obligés de nous servir de ces mouvements dans l'audition avec une seule oreille. Mais nous ne sommes pas très-certains de déterminer exactement la direction du son, même lorsque nous écoutons des deux oreilles; nous faisons presque toujours mouvoir notre tête lorsque nous cherchons attentivement la source du son.

La conque de l'oreille rend en effet quelques services appréciables dans cette recherche. Car lorsque nous dirigeons l'oreille vers la source d'un son, la conque se trouve placée dans la direction qui est presque la plus favorable pour réfléchir les ondes vers le conduit auditif. Cette position est moins favorable lorsque le son vient de l'avant, et elle est tout à fait défavorable lorsque le son vient de l'arrière, car alors les ondes sonores qui arrivent en ligne directe sont écartées. Nous pouvons donc juger si un son vient de l'avant ou de l'arrière, surtout lorsque nous connaissons déjà par expérience la force moyenne

du son, et encore mieux lorsque nous établissons des comparaisons en faisant mouvoir la tête.

Mais Ed. Weber a aussi soutenu que la conque de l'oreille peut juger de la direction des ondes sonores qui la frappent, parce qu'elle est elle-même mise en vibration et qu'alors nous pouvons apprécier si la surface antérieure ou la surface postérieure de la conque a été touchée par les ondes. Une observation très-intéressante de Weber a été invoquée comme preuve à l'appui de cette explication. Lorsque nous faisons attention à un son venant de l'avant et que nous mettons devant l'oreille nos deux mains courbées de manière à leur faire représenter une espèce de conque, nous éprouvons une illusion et le son nous paraît provenir de l'arrière. Weber croyait que les mains, jouant dans ce cas le rôle de conque, étaient aussi capables de juger si leur surface postérieure se trouvait frappée par les ondes sonores et que nous jugions alors que le son venait de l'arrière. Si cette explication était juste, il faudrait admettre que les nerfs tactiles de la conque et des mains sont capables de sentir les mouvements ondulatoires de l'air, car on n'a point encore trouvé dans ces parties d'appareil nerveux d'une autre nature. Mais le sens tactile de la conque est beaucoup plus faible que celui de la paume de la main, et il est certain que nous ne sentons pas les ondes sonores avec la paume de la main lorsque nous couvrons, par exemple, la partie supérieure d'un tuyau à anche, pendant qu'il résonne. Il n'est donc pas probable que la peau de la conque puisse percevoir la direction des ondes sonores.

La faculté que nous possédons de juger si un son vient de l'avant ou de l'arrière, s'explique beaucoup plus facilement par l'affaiblissement qu'éprouve le son qui vient de derrière, et, dans l'expérience de Weber, les mains placées devant l'oreille ne font probablement qu'étouffer le son et le rendre semblable à celui qui vient de l'arrière.

Weber a encore remarqué que nous distinguons très-mal la direction de devant ou d'arrière lorsque nous appliquons à plat la conque contre le crâne. Ce fait peut facilement s'expliquer

de deux façons. D'après Weber nous ne pouvons pas juger de la direction parce que la surface postérieure de la conque n'est point touchée par les ondes sonores; dans notre manière de voir ce résultat est dû à ce que les conditions de la conductibilité des sons dans les deux directions sont devenues presque égales.

Nous devons encore ajouter finalement que la conque doit être considérée comme un organe de protection de l'oreille interne. Comme les paupières défendent les yeux contre l'introduction de corps nuisibles, ainsi la conque est destinée à arrêter la poussière ou d'autres petits corps amenés par l'air et à s'opposer à l'introduction d'insectes rampants. Cette protection n'est point produite par des mouvements d'occlusion, mais, chez l'homme, c'est surtout par la forme sinueuse de l'organe qui empêche de trouver facilement l'entrée du conduit auditif. En outre, cette entrée est plus ou moins garnie de petits poils qui servent à arrêter la poussière et qui, à ce qu'il paraît, n'étouffent pas considérablement le son.

Le conduit auditif formé au commencement de cartilage et plus intérieurement d'os, n'est pas, comme nous pouvons le voir sur la figure, un conduit droit et d'égale largeur. Près de son entrée on trouve un rétrécissement qui se courbe en haut, puis le conduit s'élargit un peu et se termine à la membrane du tympan dont la surface est inclinée obliquement en bas et du côté interne. Les parois du conduit secrètent une substance grasse, le *cérumen*, préparée dans de petites glandes, et qui a pour but de maintenir la membrane du tympan à l'état de souplesse et de la préserver contre la dessiccation. D'un autre côté, une sécrétion trop abondante de cette substance peut devenir nuisible et faire naître la surdité en produisant l'occlusion du conduit auditif.

On ne peut admettre que les courbures du conduit auditif aient une grande influence sur la conductibilité du son; car lorsque nous écoutons un son à travers un tube en caoutchouc, il est assez indifférent que ce tube soit droit ou courbé, parce que la réflexion qui se produit aux parois transmet l'onde

sonore presque sans affaiblissement. Les courbures du conduit auditif n'ont donc probablement point de fonctions acoustiques, mais elles ont peut-être des fonctions protectrices consistant à empêcher la poussière d'arriver sur la membrane du tympan.

Helmholtz a montré que le conduit auditif produit une résonnance particulière. Puisque tout espace aérien clos produit un ton propre lorsqu'on y souffle, comme on peut s'en assurer au moyen des tuyaux de flûte, d'une bouteille, d'une sphère creuse, etc., de même le conduit auditif possède un ton propre. Ce ton est assez élevé, de sorte que, par la résonnance, les tons de même hauteur nous paraissent aigus et désagréables comme par exemple les tons très-élevés du violon ou les sifflements de la chauve-souris. C'est probablement aussi cette propriété qui produit l'impression désagréable que nous ressentons, quand nous grattons du verre ou de la porcelaine avec un outil en métal. En général les tons élevés sont un peu rehaussés par la résonnance du conduit auditif, tandis que les tons graves sont un peu affaiblis par elle. Nous pouvons faire varier cet effet en introduisant de petits tuyaux de papier dans notre conduit auditif et en abaissant ainsi son ton propre.

CHAPITRE TROISIÈME

LA MEMBRANE DU TYMPAN, LA CAISSE DU TYMPAN, LES OSSELETS DE L'OUÏE ET LA TROMPE D'EUSTACHE. — LES VIBRATIONS DE LA MEMBRANE TYMPANIQUE ET DES OSSELETS.

La membrane du tympan ne forme point une surface plane, elle présente au contraire une courbure qui fait saillie dans la cavité tympanique et que l'on a nommée *l'ombilic*. Cette courbure est produite par le manche du marteau qui est soudé dans toute sa longueur avec la membrane tympanique et dont l'extrémité correspond exactement à la saillie ombilicale. Cette relation est indiquée d'une manière générale sur la figure 53. La figure 64 nous montre, d'après les indications de Helmholtz, la membrane du tympan reliée au marteau et vue du côté de la cavité tympanique; la figure 65 nous montre les trois osselets de l'ouïe. On peut apercevoir sur la figure 64 que la membrane du tympan est tirée en dedans, sous forme d'entonnoir, par le manche du marteau et que la pointe de cet entonnoir ou ombilic se trouve au-dessous à l'extrémité de ce manche. La membrane du tympan est donc concave à l'intérieur depuis son pourtour jusqu'à l'ombilic, et convexe comme une voile, à l'extérieur, du côté du conduit auditif. Le bord de la membrane du tympan est fixé sur un anneau osseux. Dans la membrane même on rencontre des fibres tendineuses, les unes rayonnantes, les autres circulaires. Nous voyons encore

sur la même figure quelques objets spéciaux parmi lesquels nous signalerons la tête du marteau en *k*, sa longue apophyse en *l* et un point *x* où s'attache le tendon du muscle *tenseur de la membrane*. Nous y voyons en outre un ligament qui fixe le marteau au-dessous de sa tête et l'embouchure de la trompe d'Eustache, *t*.

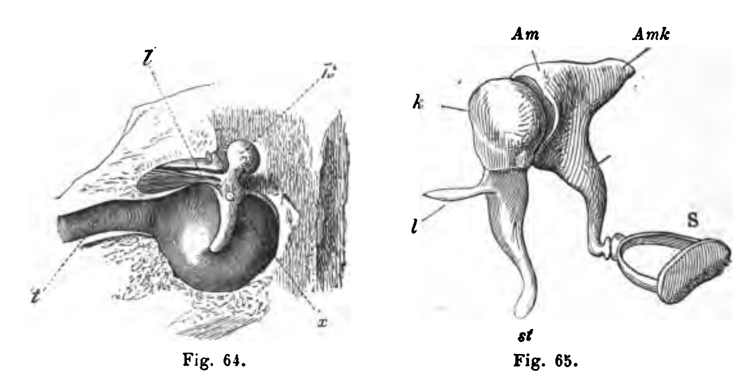


Fig. 64. Fig. 65.

Sur la figure 65 nous voyons les trois osselets de l'ouïe, grossis quatre fois, dans leur forme et dans leur position respective. La tête du marteau qui dépasse le bord supérieur de la membrane présente une surface articulaire dirigée vers l'enclume *Am*. Outre la longue apophyse *l*, le marteau en possède une plus courte située immédiatement au-dessous du col; cette apophyse n'est point visible sur la figure, elle se dirige en dehors et s'appuie sur le bord supérieur de la membrane du tympan et le pousse un peu en dehors.

L'enclume, dans son ensemble, a la forme d'une dent molaire à deux racines, dont la couronne est articulée avec la tête du marteau. Son corps porte deux apophyses semblables à des racines dentaires, dont la plus courte *Amk* se dirige vers la face postérieure de la cavité tympanique et y est attachée par des ligaments, tandis que la plus longue fait saillie dans la cavité et se termine par une petite articulation unie au sommet de l'étrier. L'étrier, dont la forme correspond à la dénomination, ainsi qu'on peut le voir sur la figure, possède une base

ovale qui, dirigée à l'intérieur, s'appuie sur la fenêtre ovale de la cavité tympanique.

La cavité tympanique est une cavité assez étroite qui dépasse le bord supérieur de la membrane tympanique. On peut la comparer à un tambour recouvert d'un côté seulement par une membrane : la *membrane tympanique*. La cavité tympanique diffère cependant de la forme ordinaire du tambour, parce qu'elle se relie inférieurement et du côté interne et antérieur, à la trompe d'Eustache.

Mais à quoi sert ce canal qui s'abouche dans la cavité de l'arrière-bouche ? — La cavité tympanique est un espace rempli d'air situé au milieu d'un os. Cet air, s'il était complétement séparé de l'air atmosphérique, changerait bientôt de composition, serait ensuite probablement absorbé par le sang et remplacé par un liquide excrété, s'il ne pouvait être renouvelé d'une manière permanente. Ce renouvellement a lieu par la trompe d'Eustache qui permet de temps en temps un échange d'air. Il y a même plus qu'un simple échange d'air, car la trompe égalise la pression entre l'air extérieur et celui de la cavité tympanique et ce phénomène est très-important pour le fonctionnement de la membrane tympanique. Car dès que la pression extérieure devient plus forte, la membrane tympanique est refoulée à l'intérieur ; dès que la pression devient au contraire moins forte, cette membrane est forcée de se voûter en dehors. Dans les deux cas les mouvements de la membrane seraient entravés et c'est alors que la trompe d'Eustache intervient en laissant entrer ou sortir de l'air. Mais la trompe n'est point toujours béante, elle est au contraire habituellement fermée et ne s'ouvre que lorsque nous faisons des mouvements de déglutition, mouvements que nous n'exécutons pas seulement quand nous mangeons mais que nous pratiquons assez fréquemment pour avaler la salive sécrétée : la trompe remplit donc suffisamment sa tâche de servante de l'oreille.

Valsalva, anatomiste très-distingué du XVII[e] siècle, a montré, par l'expérience suivante, de quelle manière la trompe s'ouvre au moment de la déglutition. On se bouche le nez, et on gonfle

les joues en tenant la bouche fermée; si en ce moment on exécute un mouvement de déglutition sans laisser échapper l'air par la bouche, ce que l'on peut facilement exécuter après quelques tentatives, on sentira une pression particulière dans les deux oreilles. Cette pression est produite par une condensation de l'air dans la cavité tympanique, condensation faite à travers la trompe et qui repousse la membrane tympanique à l'extérieur. Cette sensation de pression continue jusqu'à ce que nous passions à un nouveau mouvement de déglutition, pendant lequel l'air pourra s'échapper de nouveau.

On peut aussi, d'une manière analogue, raréfier l'air de la cavité tympanique. Fermons la bouche et le nez; raréfions l'air dans la cavité palatine par une forte inspiration et exécutons en même temps un mouvement de déglutition. Nous exerçons ainsi une espèce de succion sur l'air de la cavité tympanique, la membrane tympanique est alors refoulée à l'intérieur et nous éprouvons le même sentiment de tension dont nous serons débarrassés par le prochain mouvement de déglutition. Pendant ces expériences de Vasalva nos sensations auditives sont confuses et affaiblies, d'où il résulte que la membrane du tympan ne peut remplir ses fonctions ordinaires, lorsqu'elle est dans un état de tension anormale.

L'ouverture de la trompe d'Eustache est produite par des muscles qui s'insèrent à ses parois cartilagineuses et qui se contractent pendant les mouvements de déglutition. Mais on peut se demander pourquoi la trompe n'est point toujours ouverte, pourquoi elle est habituellement fermée et pourquoi elle ne s'ouvre que momentanément pour se refermer de nouveau rapidement? Si ce canal est destiné à l'échange de l'air, il serait beaucoup plus simple qu'il fût toujours ouvert.

On peut résoudre cette question d'une manière à peu près certaine. Et d'abord si la trompe était ouverte elle pourrait conduire directement des sons dans la cavité tympanique. On peut s'assurer de cette possibilité en introduisant dans la trompe une canule par laquelle on dirige un son. Nous entendrions donc, si la trompe était habituellement ouverte, notre

propre voix avec une force retentissante, et quoiqu'il y ait des gens qui idolâtrent leur propre voix, un renforcement de cette nature finirait cependant probablement par les fatiguer à la longue.

En outre, si la trompe était ouverte, l'entrée et la sortie de l'air pendant la respiration, auraient pour résultat un mouvement de l'air de la cavité tympaniqne et produiraient par conséquent une courbure en dedans ou en dehors de la membrane tympanique. En un mot, nous reconnaissons que la fermeture de ce canal est d'une importance pratique évidente et qu'il faut nécessairement un mécanisme particulier pour l'ouvrir de temps en temps.

Il serait encore possible que la trompe ouverte modifiât les vibrations de la membrane du tympan et la résonnance de l'air contenu dans la cavité tympanique. Car le ton d'un tambour change du moment qu'on pratique une ouverture à la caisse. Il faut cependant encore entreprendre des recherches théoriques et pratiques pour prouver une influence de ce genre de la part de la trompe.

Ce canal constitue aussi un tuyau d'écoulement pour les sécrétions de la muqueuse qui tapisse la cavité tympanique. Le passage vers la cavité palatine est beaucoup plus facile qu'en sens opposé puisque les parois se contractent dans ce dernier sens comme des soupapes. Lorsque la muqueuse de la trompe est atteinte de catarrhe, ce conduit peut devenir imperméable à l'air et alors il se produit un degré plus ou moins fort de surdité provoqué par le manque de renouvellement d'air dans la cavité tympanique et par l'accumulation des mucosités. C'est pour ce motif que les médecins introduisent, dans les affections de ce genre, de petits tubes en caoutchouc dans la trompe.

Parmi les corps solides dont les vibrations sont capables de produire un ton, nous trouvons les membranes tendues dont la percussion fait naître le ton, comme le tambour par exemple. Les vibrations qui s'y manifestent sont transversales et nous pouvons nous imaginer que chaque diamètre d'une mem-

brane circulaire exécute des vibrations analogues à celles d'une corde. Mais pour un tambour il faut aussi un espace cylindrique clos et rempli d'air qui augmente considérablement le ton par résonnance lorsque son ton propre correspond à celui de la membrane. Une membrane librement tendue sur un cercle mince et sans caisse ne donne qu'un ton de moyenne force.

La membrane tympanique de l'oreille n'est point mise en vibration par une percussion mais par les ondes sonores de l'air. Le phénomène se produit donc pour l'oreille d'une façon opposée à ce qui a lieu pour le tambour. Dans cet instrument ce sont les baguettes qui provoquent les vibrations de la membrane, celle-ci fait naître les vibrations dans l'air du tympan et dans l'air ambiant; dans l'oreille au contraire l'onde sonore vient frapper contre une membrane tendue et celle-ci contre des baguettes d'une merveilleuse structure, les *osselets de l'ouïe,* qui à leur tour transmettent les vibrations plus loin.

Il est très-nécessaire de savoir d'abord de quelle manière le système des osselets de l'ouïe, relié d'une part à la membrane du tympan et d'autre part à la membrane de la fenêtre ovale, exécute ses vibrations. Il est hors de doute que la membrane du tympan, grâce à son élasticité, n'exécute que des vibrations transversales lorsqu'elle est mise en mouvement par une onde sonore. Des vibrations de la membrane tympanique ne sont cependant pas aussi simples que celles d'une membrane plane et tendue ainsi que nous le verrons plus tard, mais prises d'une manière générale elles correspondent à celle-ci dans leur forme.

Il en est tout autrement pour les osselets de l'ouïe. Ce sont de petits corps en partie irréguliers, en partie conformés comme des baguettes et dont les vibrations devraient être considérées comme très-irrégulières. Un bâton fixé par un bout peut exécuter des vibrations transversales lorsque nous l'attirons d'un côté par son bout libre et que nous le lâchons ensuite. Il peut aussi exécuter des vibrations longitudinales lorsque nous le

frottons dans le sens de sa longueur. On a en outre observé que le son se transmet parfaitement bien à travers les corps solides et rigides. Lorsque nous appliquons, par exemple, notre oreille contre un tronc d'arbre couché horizontalement ou contre une muraille et que nous faisons frapper très-légèrement ces corps à une distance assez éloignée, nous percevons parfaitement bien le son, tandis que nous ne le percevons pas du tout à travers l'air. Chacun sait d'ailleurs qu'on perçoit bien mieux le trot éloigné des chevaux par le sol que par l'air. Toutes les vibrations sonores qui se propagent par des corps solides se composent principalement de vibrations longitudinales. Dans le tronc d'arbre, par exemple, il ne se forme pas de vibrations de toute sa masse dans un sens ou dans l'autre, l'arbre ne se courbe pas d'un côté ou de l'autre comme un ressort fixe et vibrant, mais la vibration se fait dans son intérieur et dans ses plus petites particules qui vibrent de côté et d'autre mais principalement dans le sens longitudinal. Les vibrations longitudinales pures des particules les plus fixes ne se font habituellement que dans des baguettes minces que l'on frotte dans le sens de la longueur.

On pourrait croire d'après cela que des vibrations longitudinales se produiront dans la masse des osselets de l'ouïe, puisque la substance osseuse est particulièrement propre à propager des vibrations de ce genre, comme nous l'avons déjà dit en parlant de la conductibilité par les os. Cette opinion a eu un grand nombre de partisans, mais, comme l'a fait remarquer Helmholtz, les osselets sont de dimensions si restreintes comparativement à la longueur d'une onde sonore, qu'on ne peut en aucune façon admettre une propagation de ce genre. Les ondes sonores des tons moyens ont, dans l'air, une longueur d'un demi-mètre à un mètre et elles sont encore plus longues dans les corps solides, parce que le son s'y propage avec plus de rapidité. En outre, les osselets ne sont nulle part fixés d'une manière immobile, et ils sont extraordinairement légers à cause de leur faible masse, en sorte qu'un choc qui agit à l'une de leurs extrémités mettra de suite en mouvement toute la chaîne.

Par conséquent, lorsqu'une onde sonore agit sur le marteau, on ne peut croire que ce mouvement se propage par ondulations jusqu'à l'étrier, comme cela se fait dans la lourde masse d'un tronc d'arbre. Une onde sonore est en effet si longue que les trois osselets se trouvent presque en même temps au même point de l'onde et sont par conséquent forcés de faire un mouvement commun dans le même sens.

Nous sommes donc obligés d'admettre l'unique résultat possible, à savoir, que les osselets exécutent des vibrations transversales. Un examen exact de leur liaison réciproque nous apprendra de quelle façon ces vibrations peuvent s'exécuter.

Le manche du marteau est soudé dans toute son étendue avec la membrane du tympan, sa tête au contraire dépasse le bord de cette membrane et fait saillie dans la cavité tympanique. Le col du marteau, sa longue et sa courte apophyse sont attachés à des points osseux au moyen de ligaments élastiques, et ces ligaments constituent une espèce d'axe, le ligament axilė, autour duquel le marteau peut exécuter des vibrations. Ce ligament axile passe de l'avant à l'arrière à travers le col du marteau; le point a de la figure 66 indique la place où il devrait passer. Tous les points du marteau situés au dessous du ligament axile sont portés vers l'intérieur lorsque la membrane du tympan exécute une vibration vers l'intérieur, tandis que tous les points situés au dessus de ce ligament sont portés vers l'extérieur. Pendant que le manche du marteau vibre du côté interne et la tête du côté externe, l'enclume est mise en mouvement par l'articulation qui existe entre les deux os et comme si cette articulation était complétement solide. Cette articulation possède en effet une forme particulière que les recherches de Helmholtz ont fait comparer, quant à son action mécanique, à celle des dents d'arrêt. Elles sont tellement emboîtées que le corps de l'enclume et la tête du marteau se dirigent en arrière, tandis que la longue racine de l'enclume et le manche du marteau sont tournés du côté supérieur et interne. De cette façon l'étrier reçoit à son tour un choc dirigé vers l'intérieur et vient

frapper avec sa base sur la fenêtre ovale : c'est ainsi que l'onde sonore trouve son entrée dans le labyrinthe.

Il est évident que dans l'oscillation en retour tous ces mouvements se font en sens inverse. Nous devons cependant faire remarquer que dans ce cas les dents d'arrêt de l'articulation ne sont point engrenées. Lorsque, par une circonstance quelconque, par une pression exagérée de l'air par exemple, la membrane tympanique est refoulée à l'extérieur et qu'entraînant avec elle le manche du marteau elle augmente la saillie de la tête à l'intérieur, les surfaces articulaires se déboîtent et empêchent ainsi l'arrachement de l'étrier hors de la fenêtre ovale. (Voyez fig. 66.)

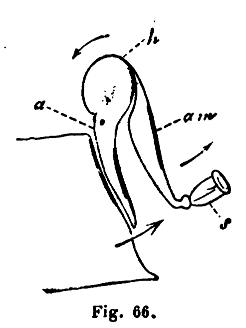


Fig. 66.

Le système des osselets de l'ouïe exécute ainsi un mouvement commun et simultané autour d'un axe commun, le *ligament axillaire.* Nous pouvons appeler ce mouvement un mouvement de levier; seulement nous avons affaire dans ce cas à un levier à deux branches, analogue aux leviers coudés que l'on applique aux tirages de sonnettes pour faire changer la direction du fil de fer. L'un des bras de ce levier est constitué par le manche du marteau qui est mis en mouvement par la force vibrante de la membrane tympanique, l'autre bras de levier constitué par la tête du marteau, par l'enclume et par l'étrier, met en mouvement la masse du liquide labyrinthique.

Les vibrations des osselets de l'ouïe sont donc véritablement des vibrations transversales, mais elles ne sont nullement analogues aux vibrations d'une corde tendue ou d'un ressort fixé, car les osselets ne sont fixés nulle part et ne vibrent point en raison de leur élasticité, mais elles sont mises en vibration simultanée, comme levier, par les vibrations de la membrane tympanique.

On a même observé sur l'organe disséqué et isolé de l'homme, que les osselets exécutent leurs vibrations de la manière décrite. On regardait pour cela un point brillant de leur surface sous le

microscope pendant qu'on faisait produire un son par un tuyau d'orgue en communication avec le conduit auditif. Le point brillant se transformait alors en une ligne courte et brillante dirigée dans le sens du mouvement.

Les osselets servent donc comme un système de leviers mettant en communication la membrane tympanique et la fenêtre ovale et transmettant les forces de l'une à l'autre. Pendant leur mise en mouvement par la première, ils frappent contre la fenêtre ovale comme les baguettes du tambour, avec cette différence toutefois qu'ils ne peuvent s'en détacher, mais qu'ils y sont fixés comme ils le sont à la membrane tympanique.

CHAPITRE QUATRIÈME

FONCTIONS DE LA MEMBRANE TYMPANIQUE. — TÉLÉPHONE. — FLAMMES VIBRANTES. — SIGNIFICATION DE LA FORME EN ENTONNOIR DE LA MEMBRANE TYMPANIQUE. — MUSCLES DE LA CAVITÉ TYMPANIQUE.

Une membrane tendue sur l'ouverture d'un tuyau ou sur un anneau donne, lorsqu'elle est frappée, un ton propre, qui s'élève d'autant plus que la membrane est plus tendue et qui s'abaisse avec l'élargissement de cette membrane. Lorsque nous faisons résonner le même ton dans le voisinage de la membrane, ce que l'on peut exécuter facilement en chantant ce ton, la membrane se met elle-même en vibration, absolument comme une vitre résonne lorsque son ton propre est produit dans le voisinage. Mais quand nous émettons un autre ton, la membrane reste en repos, et ce n'est que lorsque nous nous rapprochons du ton propre que la vibration commence et que la résonnance devient de plus en plus forte. On peut facilement reconnaître cette résonnance, en saupoudrant la membrane de sable fin qui sautille sous l'influence des vibrations.

On pourrait croire que la membrane du tympan possède aussi un ton propre. Mais notre ouïe serait bien compromise, surtout au point de vue musical, si la membrane du tympan se comportait comme une simple membrane tendue à plat. Car dans ce cas, nous entendrions résonner avec une grande intensité le ton propre de la membrane; mais les tons plus graves

ne seraient entendus qu'avec une intensité rapidement décroissante, en sorte que nous percevrions à peine la plupart d'entre eux.

La membrane du tympan jouit donc de la propriété très-remarquable de répondre aux tons d'élévation diverse compris dans l'échelle tonique entre 60 et 4000 vibrations par seconde. Une membrane ordinaire tendue ne produit jamais ce résultat.

Il existe quelques appareils artificiels dans lesquels des membranes tendues résonnent pour une grande étendue de l'échelle et qui possèdent par conséquent quelque ressemblance avec la membrane du tympan. Parmi ces instruments nous citerons avant tout le *téléphone* de Reiss. Cet instrument résout le problème de la transmission télégraphique des sons, de manière que par son aide on pourrait très-bien télégraphier une chanson. Voici de quelle façon elle est construite. Une boîte *A* est en communication avec un tuyau *R* dans lequel on chante. Une membrane animale sèche se trouve médiocrement tendue sur le couvercle : elle possède donc un ton propre assez bas. Sur un de ses points on a étendu une bande mince d'étain depuis le bord jusqu'au centre de la membrane : sur l'extrémité centrale de cette bande on place une petite plaque métallique très-légère *p*, communiquant avec le fil conducteur *d*. A l'autre bord un second fil mène à la batterie électrique *B*, d'où part un nouveau fil en relation avec l'appareil *K* que l'on peut placer dans une station éloignée. L'appareil *K* se compose d'une caisse résonnante dans laquelle se trouve un petit électro-aimant entouré d'un fil en spirale qui, lui-même, est traversé par le courant. Un électro-aimant de ce genre possède la propriété de donner des sons, dont la hauteur dépend du nombre des courants qui se succèdent avec une extraordinaire rapidité. Le nombre des vibrations du ton est alors égal au nombre des courants qui traversent le fil.

Quand nous chantons dans la boîte, la membrane se met en vibration. La petite plaque de métal *P* sautille alors sur la bande d'étain et il se produit pendant la seconde autant de con-

tacts et de séparations, entre ces deux corps, que le ton exécute de vibrations. Il se produit donc pendant cette seconde autant de courants de courte durée, et l'électro-aimant reproduit le ton chanté qui est encore renforcé par la résonnance de l'appareil.

Cet appareil réagit assez bien pour toute l'étendue d'une voix ordinaire, la membrane vibre donc pour toute une série de tons comme le fait la membrane du tympan. Ceci s'explique

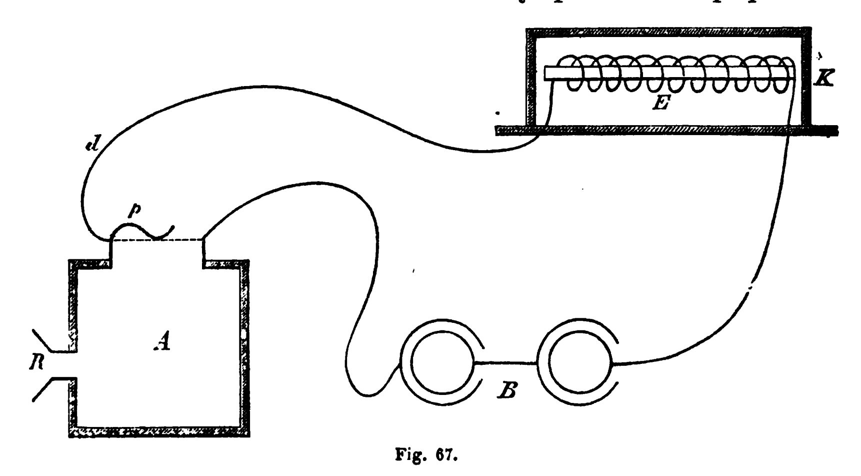


Fig. 67.

facilement, puisque la membrane n'a pas la même tension dans toutes ses parties et qu'elle possède un ton propre très-bas. Elle est donc mise en mouvement dans certaines de ses parties par des vibrations aériennes de la boîte A, et elle se divise en plusieurs sections vibrantes, séparées entre elles par des lignes nodales. Des sections de membranes différemment limitées se mettent en vibration pour des tons de hauteur différente. La pression que la petite plaque métallique P exerce sur la membrane exerce aussi une certaine influence. Cette plaque amortit toute vibration propre de la membrane et surtout les vibrations consécutives, mais elle est assez légère pour être elle-même mise en mouvement par un chant un peu fort. Il s'ensuit que la membrane peut s'accommoder parfaitement pour toute une série de tons. Nous pouvons donc la comparer très-justement à

la membrane tympanique et la petite plaque de métal aux osselets de l'ouïe.

Un autre appareil très-ingénieux que nous pouvons comparer par ses effets à l'organe de l'ouïe, c'est l'appareil à *flammes vibrantes* de Kœnig. Une boîte *K* (fig. 68) présente sur un de ses côtés une membrane en caoutchouc *M* surmontée d'un tuyau en entonnoir que l'on a négligé de représenter sur la figure. On fait passer à travers la boîte un courant de gaz d'éclairage qui s'échappe par le bec *f* et qu'on allume. La membrane qui au début était tout à fait lâche est un peu bombée en dehors par la pression du gaz, mais n'est point fortement tendue et donne un ton propre très-grave et à peine perceptible. Elle entre donc en vibration pour une grande série de tons que l'on chante dans le tuyau, et le gaz, mis alors lui-même en vibration, fait vibrer à son tour la flamme. Les vibrations de la flamme sont tellement rapides qu'on ne peut les saisir au moyen de la vue ordinaire. C'est pour les manifester que l'on a mis près de l'appareil un cube qui représente quatre faces réfléchissantes et qui est mis en une rotation rapide.

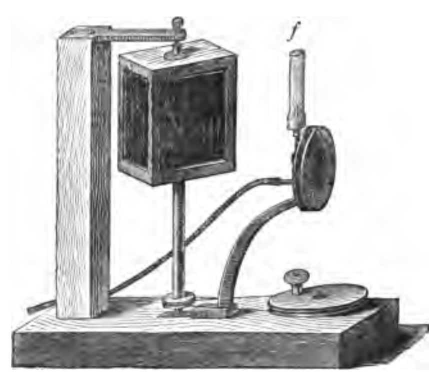


Fig. 68.

Lorsque la flamme brûle tranquillement, c'est-à-dire lorsqu'on ne chante pas dans le tuyau, on voit sur les miroirs du cube une ligne droite et brillante. Mais dès qu'on chante on voit apparaître un grand nombre de pointes sur la flamme, parce que celle-ci s'élève et s'abaisse et que chaque élévation produit une image momentanée. Plus le ton est élevé, plus les sommets de la flamme sont rapprochés, plus le ton est grave, plus aussi les sommets sont distancés, parce que le nombre des images de la flamme doit être égal au nombre des vibrations du ton émis.

Dans cet appareil la membrane possède des propriétés très-comparables à celles de la membrane du tympan, car elle est capable de réagir sur des tons d'élévation diverse : ceci s'explique encore parce qu'elle possède un ton propre très-grave. La masse du gaz exerce aussi une certaine influence, puisqu'elle charge pour ainsi dire la membrane par sa pression et qu'elle amortit ses vibrations propres.

Trouverons-nous à la membrane du tympan des propriétés identiques qui la rendent capable d'entrer en vibration pour une aussi grande série de tons? Oui, sans aucun doute.

Il y a deux causes qui font naître ces propriétés de la membrane du tympan, d'abord sa *forme en entonnoir* qui produit une tension inégale et faible, puis la *charge* qu'elle supporte par la chaîne des osselets.

Il a été prouvé par Helmholtz qu'une membrane courbée en entonnoir possède des propriétés très-remarquables.

Lorsque nous étendons une membrane en caoutchouc sur un large tuyau et que nous la déprimons au centre au moyen d'un bâton perpendiculaire, elle prendra forcément la forme d'un entonnoir. Nous constatons en outre que sa surface est convexe en dehors. Elle possède des tensions différentes sur des points diversement éloignés du centre et les tensions augmentent vers le centre de la membrane. Nous reconnaissons ce fait parce que la membrane est plus dilatée et plus mince au centre, en sorte que si nous augmentions la pression, il se produirait une déchirure en ce point.

Une membrane tendue de cette façon n'a point de ton propre puisqu'elle ne possède point de tension uniforme. La membrane du tympan présente, en principe, la même forme puisque ses rayons se dirigent sous formes de courbes de l'ombilic à la périphérie. En outre, cette membrane n'est point très-extensible et sa tension est justement suffisante pour la tirer un peu en dedans et la raidir un peu, mais ne peut lui faire produire un ton propre perceptible. Une membrane de cette forme est très-propre à transmettre des vibrations de rapidité différente, ce qui a été prouvé par Helmholtz de la façon suivante. Sur une

planche *AA* se trouve un tuyau horizontal *R*, fermé à un de ses bouts par une membrane animale *M*. Un petit bâtonnet en bois *St*, relie le milieu de la membrane à la corde tendue *S*. Lorsque nous faisons vibrer la corde au moyen d'un archet, elle produit un ton très-étoffé, puisque la membrane transmet facilement les vibrations à l'air. Si nous supprimons au contraire le bâtonnet, le ton de la corde sera sourd et faible parce que les vibrations sont très-difficilement communiquées à l'air. Lorsque nous plaçons devant le tuyau un diapason vibrant dont le ton correspond à celui de la corde, celle-ci se mettra elle-même en vibration, ce que l'on peut facilement reconnaître en

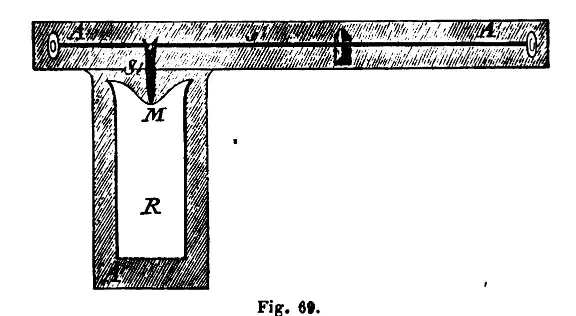


Fig. 69.

plaçant sur la corde de petits cavaliers en papier qui seront rapidement rejetés. Mais comme cette expérience réussit avec des diapasons donnant des tons différents, du moment où nous prenons le soin de rétrécir la corde de manière à lui faire produire le même ton, il en résulte que la membrane en entonnoir possède la propriété de propager une grande série de tons. La membrane du tympan qui possède au plus haut degré cette propriété, la doit principalement à sa conformation en entonnoir.

Puisque nous comparons dans cet appareil la membrane en entonnoir à la membrane tympanique nous pouvons aussi comparer le bâtonnet et la corde aux osselets de l'ouïe, car les uns et les autres ne servent qu'à la transmission des sons. Mais les osselets jouent encore un autre rôle puisqu'ils chargent la

membrane du tympan comme une masse inerte et lui permettent ainsi de s'accommoder à toutes sortes de vibrations. Ils produisent encore un autre effet favorable puisque leur pression empêche toute vibration consécutive. Il serait certainement très-incommode pour notre ouïe que la membrane du tympan exécutât des vibrations consécutives comme une cymbale, mais cet inconvénient est empêché principalement parce que les osselets jouent le rôle d'étouffoirs, absolument comme les étouffoirs d'un piano qui s'appliquent contre les cordes après chaque ton produit.

Nous avons encore à parler d'un effet très-important dû à la forme en entonnoir de la membrane du tympan. Nous avons montré plus haut, que la surface extérieure de cette membrane est gonflée comme une voile. Il en résulte que la pointe de l'entonnoir, c'est-à-dire l'ombilic, ne peut pas exécuter les vibrations les plus amples : celles-ci se rencontreront au contraire entre l'ombilic et le bord. Mais la force de ces vibrations se propage de tous les côtés vers l'ombilic et se rassemble en ce point et y acquiert pour ainsi dire une plus grande intensité. Nous pouvons comparer ce phénomène au mouvement ondulatoire que nous faisons naître dans une corde faiblement tendue horizontalement. Lorsque nous donnons à la partie inférieure et médiane de cette corde un coup dirigé en haut, il se produit une onde qui se propage jusqu'aux extrémités où elle peut exercer sa puissance. Les ondes de la membrane se transmettent de même jusqu'à l'ombilic et tandis que leur force est employée à faire mouvoir les osselets de l'ouïe, les excursions de l'onde diminuent d'amplitude. La diminution de l'amplitude a une très-grande importance, car il est évident que la membrane de la fenêtre ovale ne peut point exécuter des ondulations aussi étendues que la membrane du tympan, qui est vingt fois plus grande qu'elle. Pour ce motif les vibrations de la membrane tympanique sont déjà amorties en partie dans cette membrane même pendant qu'elles se propagent vers le centre et à la pointe du marteau. Mais la force de l'onde sonore s'accroît dans l'entonnoir tympanique,

absolument comme une colonne de liquide qui s'écoule, acquiert un mouvement plus rapide à sa partie inférieure.

C'est de cette façon que les ondes sonores sont transmises par la membrane tympanique à une membrane vingt fois plus petite ; toute la force de vibration de la membrane tympanique se rencontre sur un espace beaucoup plus petit et est par conséquent augmentée vingt fois. En outre la chaîne des osselets agit comme un levier et si nous mesurons la longueur des deux bras de ce levier nous voyons que la membrane tympanique exerce son action sur un bras 1 1/2 fois plus long que celui qui se trouve en contact avec la membrane de la fenêtre ovale ; d'où il résulte que la force de l'onde sonore devient même trente fois plus considérable à son arrivée à la fenêtre ovale.

A ces remarquables délicatesses de structure de l'appareil tympanique, il faut encore ajouter l'effet de deux petits muscles qui s'insèrent aux osselets de l'ouïe. L'un de ces muscles s'insère au moyen d'un tendon étroit et long au manche du marteau tout près du col (voyez fig. 64) en sorte qu'il agit perpendiculairement à la membrane. Il est hors de doute que la contraction de ce muscle sert à tirer la membrane plus ou moins en arrière et par conséquent à augmenter sa tension. On doit donc se demander quelle est la fonction véritable de ce muscle.

Une tension plus ou moins grande de la membrane tympanique doit exercer une action manifeste sur ses vibrations. Comme cette tension n'est généralement pas très-forte, une augmentation de cette tension par le muscle tenseur doit produire un changement notable. On a donc supposé que ce muscle était destiné à accommoder la membrane tympanique à des sons de hauteur différente, en sorte que l'oreille, comme l'œil, posséderait un organe d'accommodation. Mais on peut objecter à cette manière de voir qu'il est de toute impossibilité que les tensions musculaires puissent varier aussi rapidement que les sons que nous percevons quand on joue un air. Car la contraction musculaire se trouverait certainement en retard

pour les trilles par exemple et coïnciderait alors avec un ton faux. Il n'est donc pas probable que ce muscle soit toujours en activité, mais il est possible qu'il se mette en action lorsqu'on écoute attentivement un ton déterminé et d'une certaine durée. Plus le muscle se contracte, plus il tend la membrane tympanique et mieux nous entendons les sons élevés, tandis que nous entendons moins bien les tons graves. L'accommodation de l'oreille peut donc être produite de cette façon.

On a aussi attribué au tenseur de la membrane le rôle d'un étouffoir. Lorsque par la contraction de ce muscle la membrane tympanique est fortement déprimée à l'intérieur, on peut croire que ses vibrations sont amorties comme une corde dont nous amortissons les vibrations, en la pressant du doigt. Il est donc possible que le muscle se mette aussi en action lorsqu'un son fort et assourdissant frappe notre oreille, et qu'alors il diminue l'amplitude des excursions de la membrane. L'étrier est en même temps enfoncé plus profondément dans la fenêtre ovale et ne peut plus exécuter de grands mouvements. Cet amortissement produira plus d'effet sur les tons graves que sur les tons élevés, puisqu'une tension plus forte élève le ton propre de la membrane tympanique.

Nous savons que des ébranlements très-forts, un coup de canon par exemple, peuvent amener la rupture de la membrane du tympan. Le muscle dont nous avons parlé ne peut certainement pas protéger notre organe contre une influence si subite et si violente, car il ne pourrait pas se contracter assez rapidement; mais il est possible qu'il modère dans ces cas les vibrations consécutives qui sans nul doute sont considérables.

La fonction du second muscle est encore inexplicable jusqu'ici. Ce muscle s'insère à l'étrier et a reçu le nom de muscle de l'étrier. Il part de la paroi postérieure de la cavité tympanique et son tendon s'insère à angle droit sur la tête de l'étrier, tout près de son articulation avec l'apophyse de l'enclume. On a soupçonné qu'il était destiné à amortir les vibrations sonores en forçant la base de l'étrier à se placer obliquement

sur la fenêtre ovale. Nous pourrions ajouter que son action amortissante pourrait provenir de ce qu'il agit perpendiculairement aux mouvements de l'étrier et qu'il diminue par conséquent les excursions de cet osselet. Car lorsque par exemple nous attachons un fil à un ressort en vibration et que nous tirons ce fil perpendiculairement au plan des vibrations, celles-ci seront nécessairement entravées.

Il est très-curieux de voir passer à travers la cavité tympanique un nerf que les anatomistes ont appelé la *corde du tympan* et qui n'est d'aucun usage pour l'audition. Il sort de la cavité par une fente osseuse et se dirige vers la langue.

CHAPITRE CINQUIÈME

LE LABYRINTHE. — LES ORGANES DE CORTI. — TRANSMISSION DU SON DANS LE LABYRINTHE. — PRÉSENCE D'APPAREILS VIBRANTS DANS L'OREILLE.

Passons maintenant au labyrinthe et tâchons de connaître cette partie, la plus profonde et la plus mystérieuse de l'organe de l'ouïe et dans laquelle se passent les phénomènes physiologiques de l'audition. Afin de nous retrouver plus facilement dans les méandres de cet édifice compliqué, nous allons l'examiner d'abord à l'extérieur. Les figures 70 le représentent de trois côtés différents d'après les dessins de Helmholtz. La figure A représente le labyrinthe gauche vu du côté externe. La fenêtre ovale *Fv* communique avec un espace assez large, situé au milieu du labyrinthe, et auquel on a donné le nom de *vestibule*. Aux deux côtés du vestibule on remarque des organes merveilleusement entrelacés : d'un côté se trouve le *limaçon s*, de l'autre les *canaux semi-circulaires C*. Le limaçon présente tout à fait la forme d'une coquille d'escargot et forme une spirale de deux tours et demi. Le vestibule possède encore une seconde ouverture, la *fenêtre ronde*, *Fc*, située au commencement du canal du limaçon. Les deux fenêtres, revêtues d'une membrane, communiquent, comme nous l'avons déjà dit, avec la cavité tympanique. La base de l'étrier s'appuie sur la fenêtre ovale, tandis que la membrane de la fenêtre ronde est complétement libre.

La paroi externe du labyrinthe est formée de substance osseuse et tout cet organe est profondément engagé dans l'épaisse masse osseuse du rocher. Les parois osseuses du limaçon contiennent dans leur intérieur un conduit creux enroulé en spirale et menant jusqu'au sommet de l'organe. Ce conduit est divisé en deux canaux par une cloison osseuse qui s'enroule autour de l'axe du limaçon comme un escalier

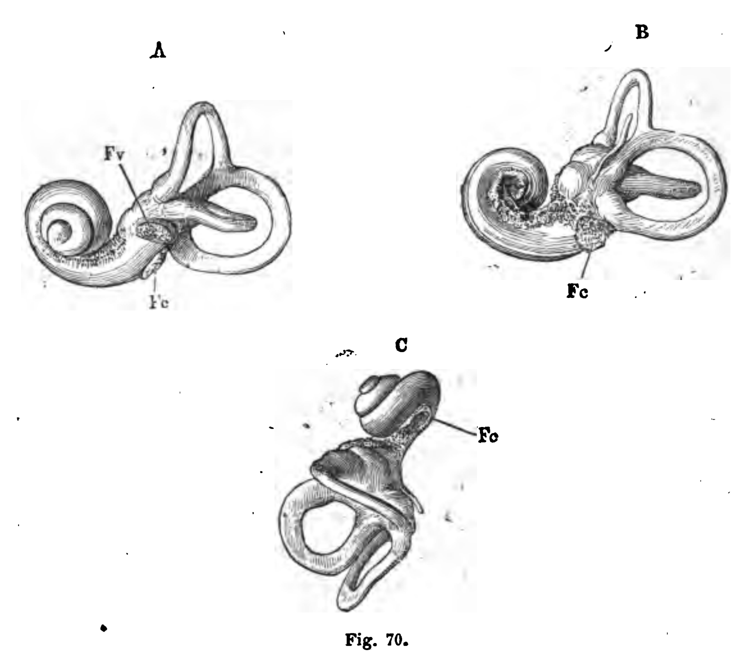


Fig. 70.

tournant et s'étend depuis la base jusqu'au sommet. On l'appelle lame osseuse ou *lame des contours*. Cette lame n'atteint point la partie extérieure des spires du limaçon, mais y est reliée par l'intermédiaire d'une membrane que l'on a nommée, à cause de sa forme également spirale, *lame spirale*. Des deux conduits spiroïdes formés par la lame spirale, le premier qui regarde la base du limaçon a été nommé *rampe tympanique* parce que la fenêtre ronde, qui mène à la cavité du tympan, est située à son origine. Le deuxième conduit dirigé vers le

sommet du limaçon se nomme *rampe vestibulaire* : elle communique à son origine avec le vestibule.

La figure 71 nous représente le labyrinthe osseux coupé du sommet à la base : nous y remarquons la coupe transversale du canal spiral de la cloison qui le divise en deux rampes.



Fig. 71.

Tout le labyrinthe osseux est tapissé à l'intérieur par une membrane qui s'étend sur les parois osseuses : on l'a nommée *labyrinthe membraneux*. La cavité formée par cette membrane est remplie du liquide labyrinthique destiné à transporter les ondes sonores. Les parois du vestibule et des canaux semi-circulaires sont aussi tapissées par cette membrane qui forme deux sacs clos se touchant par leurs parois, dans le vestibule.

Les canaux semi-circulaires occupent une position très-régulière les uns par rapport aux autres, car leurs plans forment des angles droits entre eux. On distingue pour ce motif un canal semi-circulaire horizontal et deux canaux perpendiculaires : tous ces canaux possèdent à leur origine un élargissement en forme de bouteille qu'on a nommé *ampoule*.

C'est sur les membranes du labyrinthe membraneux que nous rencontrons les expansions terminales du nerf auditif. Les fibres de ce nerf percent le labyrinthe osseux sur une grande étendue et se divisent en extrémités très-délicates dans le limaçon, dans le vestibule et dans les ampoules.

On trouve dans le vestibule, tout près des parois, de petits cristaux, les *otolithes*, formés de carbonate de chaux et qu'on connaît depuis longtemps déjà. Max Schultze a trouvé récemment dans la paroi membraneuse qui avoisine les otolithes des terminaisons nerveuses. Cette membrane est recouverte de

cellules épithéliales [1] qui portent à leur face supérieure des cils et qui, du côté de la paroi, se trouvent en connexion avec des fibres nerveuses des plus délicates. On peut admettre par conséquent que, lorsque les otolithes sont mis en mouvement ils courbent ces cils çà et là et irritent ainsi mécaniquement les extrémités nerveuses.

La paroi membraneuse des ampoules forme une saillie épaisse et proéminente que l'on appele la *crête acoustique*, *h*, fig. 72, et qui est surtout très-développée chez les poissons. Sur cette crête se trouvent des cils assez longs et roides que l'on doit aussi regarder comme des organes terminaux de nerfs puisque de nombreuses fibres nerveuses *N* se rendent à cette crête et s'y distribuent. Ces cils acoustiques sont probablement mis en vibration par les ondes du liquide labyrinthique et provoquent ainsi une sensation acoustique.

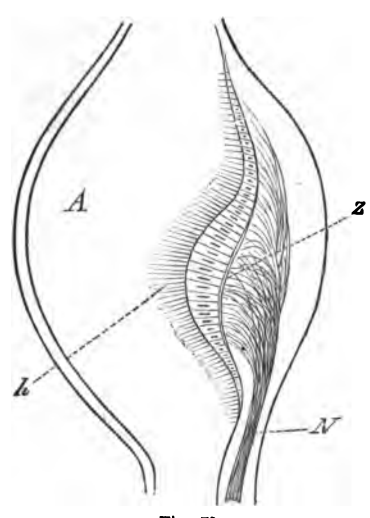


Fig. 72.

Les organes terminaux des nerfs qui se rencontrent dans le limaçon sont encore bien plus remarquables et plus compliqués. Le nerf du limaçon qui se détache du tronc commun du nerf acoustique, pénètre dans l'axe du limaçon et se divise en fibres qui traversent peu à peu et sous forme de spirale la lame osseuse et se rendent dans la membrane spirale.

La figure 73 nous représente une coupe transversale à travers une spire du limaçon. On voit à droite la paroi externe de la spire, à gauche l'axe du limaçon. La lame spirale osseuse

1. Cellules qui revêtent la surface supérieure de quelques membranes.

Ls divise la spirale en deux rampes, la *rampe du vestibule Sv* et la *rampe du tympan St*. La membrane spirale *b* qui sépare complétement les deux rampes l'une de l'autre, s'attache d'un côté à la lame spirale osseuse et de l'autre à la paroi externe du limaçon. Une membrane *v* divise la rampe vestibulaire dans toute sa longueur en deux canaux. Les fibres nerveuses parties de l'axe pénètrent la lame osseuse qu'elles traversent jusqu'au bord inférieur et se rendent dans la lame membraneuse. Cette dernière lame est composée de plusieurs tissus dont quelques-uns sont indiqués sur la figure par des lignes ponctuées, et qui se contournent en spirale pour pénétrer jusqu'au sommet du limaçon. C'est sur cette lame que nous rencontrons des organes des plus merveilleux, découverts par Corti et qui ont reçu le nom d'organes de Corti.

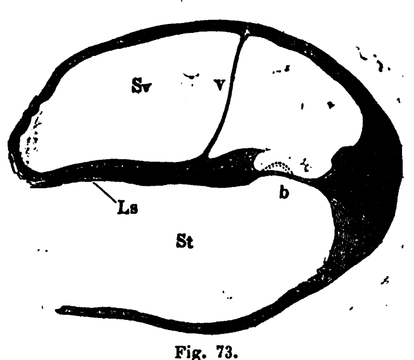
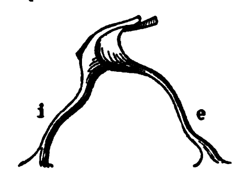


Fig. 73.

Les organes de Corti se composent de petits bâtonnets courbés en S que nous voyons représentés sur la figure 74 [1]. On



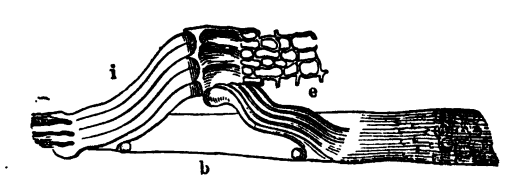


Fig. 74.

distingue deux bâtonnets, un interne *i* et un externe *e*, qui forment entre eux un *arc*. Le bâtonnet interne a un pied élargi

1. D'après Helmholtz.

et se dirige en haut près du bord de la membrane; le bâtonnet externe se termine de même sur la membrane qui a reçu à cause de ce fait le nom de *membrane basilaire*. A la partie supérieure (fig. 74) les deux bâtonnets s'engrènent d'une façon toute particulière (*f*) et présentent un petit bâtonnet court et horizontal (*tt*) comme terminaison.

On rencontre un nombre extraordinaire de ces organes de Corti serrés les uns contre les autres sur la membrane basilaire : on en a compté environ 3000 qui sont rangés les uns à côté des autres sur un très-petit espace. La figure B montre comment ces arcs sont posés sur la membrane basilaire *b*. Dans ces derniers temps on a reconnu que la membrane est composée de fibres droites et placées en travers, de sorte que chaque arc de Corti repose avec ses pieds sur une ou plusieurs de ces fibres et se confond avec elles. Cette structure paraît avoir une grande importance : car il devient très-probable par cela que les fibres transversales de la membrane basilaire sont destinées à exécuter des vibrations communes, avec les arcs de Corti.

Le reste de l'espace du canal intermédiaire est rempli de

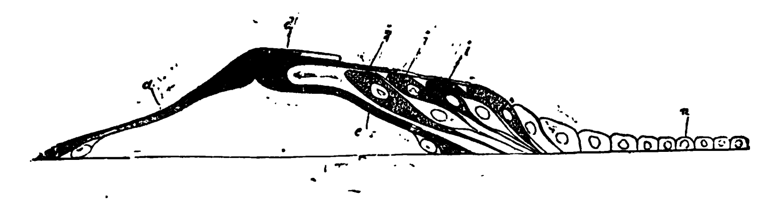


Fig. 75.

cellules de différentes formes. Le plus grand nombre de ces cellules sont petites, allongées et terminées par un prolongement capillaire : on les rencontre surtout aux environs des bâtonnets et de la membrane basilaire. Sur la figure 75 nous voyons de ces cellules *ii* dont les prolongements se rendent à la membrane basilaire [1] et qui sont disposées en trois ran-

1. D'après Koelliker.

gées dans le sens longitudinal. L'arc de Corti *ade* est aussi représenté dressé perpendiculairement à la membrane basilaire *o*. Les parois de la membrane sont immédiatement recouvertes par des cellules épithéliales rondes *n*.

Regardés par la face supérieure les organes de Corti et les tissus avoisinants présentent une structure particulière qui rappelle vivement l'intérieur d'un piano. Sur la figure 76 nous voyons en *bac* le bâtonnet ou fibre interne de Corti, en *e* la fibre externe, en *i* leur prolongement sur la membrane basilaire. En *f* se trouve le point le plus élevé de l'arc où se trouve le petit bâtonnet horizontal et terminal. Le contenu cellulaire du canal s'attache à ces bâtonnets à la façon d'une membrane et

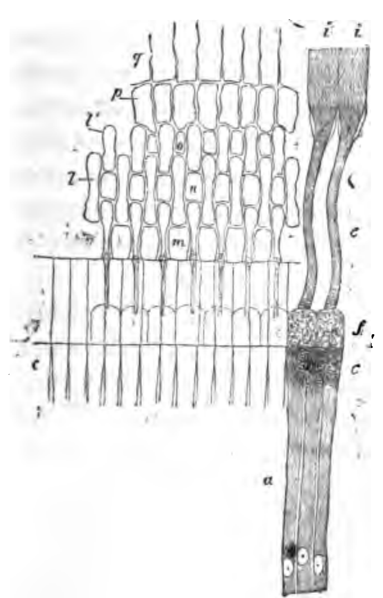


Fig. 76.

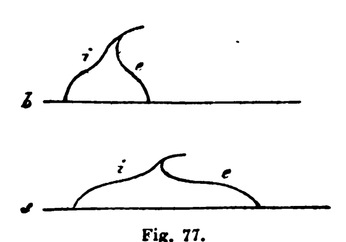


Fig. 77.

montre une structure très-régulière que nous voyons sur la figure 76 dépouillée des fibres de Corti. Nous y remarquons une triple série de perforations *mn o* (fig. 76) et, entre elles, des organes intermédiaires régulièrement disposés que l'on distingue en internes *l* et en externes *l'* et finalement des pièces terminales quadrilatères *p q*.

Le tout nous fait certainement l'effet d'un instrument construit avec une grande délicatesse et une grande régularité, et dans lequel les parties agencées entre elles ont été chacune soumises à une mensuration très-exacte. L'on voit en effet que

les arcs de Corti ne sont pas tous égaux entre eux mais que, de la base au sommet du limaçon, ces organes augmentent en largueur et diminuent au contraire en hauteur, c'est-à-dire que les fibres plus courtes de la base sont plus escarpées dans le sens de la hauteur comme le montre la figure 77 (*en b*) tandis que vers le sommet du limaçon elles sont plus allongées et ont par conséquent une hauteur moindre et sous-tendent un plus grand espace. La transition entre ces deux extrêmes se fait évidemment très-graduellement vu le grand nombre d'arcs. On ne peut pas se défendre de l'idée que le grand nombre des arcs de Corti est destiné à faire parvenir à notre sens auditif des tons de hauteur différente. En outre, la largeur de la membrane basilaire n'est point partout la même, elle augmente au contraire continuellement depuis la base du limaçon jusqu'au sommet et plus rapidement même que l'intervalle entre les arcs de Corti.

Avant d'examiner les fonctions des organes de Corti retournons encore une fois au transport du son que l'onde sonore a amené au labyrinthe. Nous avons quitté cette onde à la fenêtre ovale où elle est parvenue par l'entremise des vibrations de l'étrier. La membrane de la fenêtre ovale exécute par conséquent des vibrations transversales et met en mouvement le liquide labyrinthique. Il est évident que si le liquide labyrinthique est poussé à l'intérieur il faut qu'il exerce une pression vers l'extérieur dans un autre point de l'organe, puisque les liquides ne sont point compressibles. C'est évidemment à ce but que sert la fenêtre ronde. Dès que l'étrier forme des vibrations dirigées du côté interne, la membrane de la fenêtre ronde se courbe vers l'extérieur et offre une issue au liquide labyrinthique. Si la fenêtre ronde n'existait pas, l'étrier ne pourrait exécuter que de très-petites vibrations. La fenêtre ronde joue donc, à l'égard de la fenêtre ovale, le rôle de *contre-ouverture*.

Il se forme donc dans le liquide labyrinthique des ondes liquides produites par les secousses de l'étrier et ces ondes se propagent dans toutes les parties du labyrinthe. L'onde liquide part de la fenêtre ovale, et comme la fenêtre ovale con-

duit au vestibule, l'onde s'étendra d'abord dans le vestibule. De là elle pénètre plus profondément dans le limaçon et l'on admet qu'elle y fait vibrer à l'unisson la lame membraneuse et les organes de Corti.

Helmholtz a fait de ce phénomène le sujet de considérations très-importantes. En effet le vestibule est divisé, par les deux arcs membraneux qui s'y trouvent, en deux espaces séparés et remplis de liquide : l'un de ces espaces communique avec la fenêtre ovale, l'autre avec la fenêtre ronde. Il en résulte que le liquide labyrinthique ne peut point être poussé directement de la fenêtre ovale à la fenêtre ronde par le choc de l'étrier. Mais l'espace renfermant le liquide s'étend librement de la fenêtre ovale à la rampe vestibulaire du limaçon, tandis qu'il est séparé par une membrane de l'orifice de la rampe du tympan. Le liquide s'écoulera donc principalement dans la rampe vestibulaire et s'y élevera jusqu'au sommet. Sur ce parcours il ébranlera la lame membraneuse peu résistante et qui est obligée de se courber du côté de la rampe tympanique et de faire refluer le liquide qui y est contenu vers la fenêtre située à l'orifice de la rampe tympanique.

Nous savons par les observations physiques sur les vibrations à l'unisson, que celles-ci se produisent facilement, lorsque le ton propre du corps vibrant correspond exactement à la hauteur du ton émis. Il paraît qu'il existe en effet dans l'organe de Corti des corps capables de vibrer à l'unisson. La membrane basilaire qui est composée de fibres transversales, peut être considérée, d'après les idées de Helmholtz, comme un assemblage de cordes tendues dont certaines parties isolées peuvent vibrer à l'unisson, indépendamment du tout. Si nous admettons en outre que les arcs de Corti tendus sur la membrane basilaire exercent une influence sur les vibrations propres de la membrane et que ces arcs modifient par leur forme et par leur écartement le ton propre, on peut alors facilement comprendre qu'une portion déterminée de la membrane située à une hauteur différente de la base et du sommet du limaçon devra correspondre à un ton particulier. D'après cette explica-

tion un ton donné ne fera jamais vibrer la totalité de la membrane, mais seulement une section déterminée, et nous comprenons dès lors que nous sommes à même de distinguer entre eux une très-grande série de tons. Mais nous ne savons pas encore de quelle façon s'exécutent les vibrations de la membrane basilaire ni celles des organes de Corti situés, comme on sait, dans une masse cellulaire molle. Les fibres internes qui partent du bord interne de la membrane basilaire ne peuvent être que très-faiblement ébranlées par cette membrane, tandis que les fibres externes dont le pied repose à peu près au milieu de la même membrane peuvent être fortement ébranlées. Mais nous ne connaissons pas le rôle qu'elles jouent et on leur a même attribué dans ces derniers temps un rôle moins important qu'autrefois, depuis qu'on sait que le limaçon des oiseaux ne contient point d'organes de Corti, et l'on a attribué plus de valeur aux vibrations de la membrane basilaire.

Mais en tout cas nous savons, à n'en pas douter, que nous trouvons dans le limaçon une série d'appareils capables de vibrer à l'unisson et qui sont accordés avec la plus grande précision. Nous y voyons un appareil musical destiné, non à produire des sons, mais à les percevoir, et semblable par sa construction aux instruments de musique fabriqués, mais les surpassant de beaucoup par la délicatesse et la simplicité de leur structure. Car tandis qu'il faut à chaque corde de piano un petit marteau particulier qui la fait résonner par son choc, l'oreille ne possède qu'un seul marteau de forme très-ingénieuse, constitué par la chaîne des osselets, et qui est capable de faire résonner séparément toutes les cordes de l'organe de Corti.

La membrane basilaire n'a point, comme nous l'avons déjà fait remarquer, une largeur égale, elle augmente au contraire de largeur vers le haut. Si nous supposons sa spirale déroulée en un plan droit, elle nous paraîtra avoir la forme d'un coin comme le montre la figure 78, sur laquelle ses fibres transversales sont indiquées par des lignes. Imaginons les organes de Corti dont l'écartement s'accroît de a en a', posés sur ces fibres

transversales, et la première section de la membrane augmentera aussi de largeur de $b\ d$ en $b'd'$. Il paraît singulier que le sommet du limaçon contienne la partie la plus large, et la base la partie la plus étroite de la membrane basilaire, car d'après la structure du limaçon on s'imagine que la disposition contraire serait plus rationnelle. Mais toutes les parties de cet organe sont agencées avec tant d'exactitude que la disposition observée n'est assurément pas sans importance.

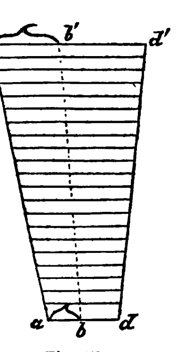


Fig. 78.

On a supposé avec beaucoup de probabilité, en tenant compte de la largeur différente de la membrane et de la forme diverse des arcs, que les tons élevés sont perçus à la base du limaçon et les tons graves à son sommet. Car au sommet les fibres les plus longues vibreront à l'unisson des tons graves, tandis qu'à la base les fibres les plus courtes vibreront à l'unisson des tons aigus. On pourrait objecter à cette supposition que les fibres transversales ne peuvent pas du tout se mettre à l'unisson des tons graves parce qu'elles sont toutes extrêmement courtes. La membrane n'a en effet qu'un demi-millimètre de largeur au sommet et à peine un vingtième de millimètre de largeur à la base[1], et si nous avions affaire à des cordes de violon de cette exiguïté elles donneraient des tons très-élevés, même si leur tension était très-médiocre. Mais nous devons remarquer que les fibres transversales ne sont point des cordes librement tendues, mais qu'elles sont chargées par les parties avoisinantes et que les arcs de Corti en particulier, qui y sont reliés, opposent par leur tension une résistance aux vibrations. Mais toute charge et tout obstacle de ce genre fait baisser le ton propre d'une corde tendue et l'on peut expliquer par là que les portions les plus larges de la membrane basilaire peuvent posséder un ton propre plus ou moins grave.

1. D'après les mesures de Hensen sur les organes de l'ouïe chez les nouveaux nés.

La membrane basilaire n'est point seulement chargée par les organes de Corti, mais encore par toute la masse des cellules reliées aux arcs et à la membrane et surtout par le liquide labyrinthique. Ce dernier, par sa résistance et son frottement, oppose une résistance aux vibrations et par ce motif encore, certaines fibres de la membrane, malgré leur petitesse, peuvent vibrer dans la même période que l'onde liquide du labyrinthe.

Nous arrivons, par toutes ces considérations, à la ferme conviction que le limaçon est destiné à la perception des tons musicaux. Cet organe nous rend capables, non pas seulement de reconnaître les différentes hauteurs des tons mais encore de percevoir rapidement les uns après les autres les tons tels qu'ils sont arrangés dans une mélodie. C'est encore, par le moyen de cet organe, que nous pouvons percevoir un ensemble de tons émis en même temps et nous réjouir de leur harmonie.

On a calculé dans quel rapport se trouve le nombre des organes de Corti relativement à l'aptitude que nous possédons de distinguer des différences de tons. Comme nous possédons 3000 organes de Corti, nous pouvons, d'après une estimation de Helmholtz, en distribuer environ 2800 sur les sept octaves qui comprennent tous les tons musicaux usités. Quatre cents arcs de Corti correspondent donc à peu près à une octave et chaque demi-ton en a pour sa part 33 et 1/3. L'intervalle d'un demi-ton est donc représenté par un nombre assez considérable de fibres transverses et d'arcs, dont les mitoyens sont le plus ébranlés et dont les extrêmes sont au contraire agités avec une force décroissante. Les musiciens exercés parviennent à saisir des différences beaucoup plus faibles entre deux tons et E. H. Weber assure même qu'on peut percevoir la différence d'un 1/64 de ton. Deux de ces tons mettront en mouvement deux arcs de Corti voisins et par conséquent la différence de ces tons pourrait déjà se trouver sur la limite de la perceptibilité. En un mot nous voyons avec quelle profusion le limaçon est garni d'appareils vibrants pour la perception des sensations musicales.

De quelle manière le nerf acoustique est-il en relation avec les organes de Corti? — Cette question a beaucoup occupé dans ces derniers temps l'anatomie microscopique. On savait de longue date, que le nerf acoustique pénètre dans l'axe du limaçon et qu'à partir de là, il envoyait peu à peu des fibres vers l'extérieur, à travers la lame osseuse. On a pu suivre ces fibres dans cette lame jusqu'au bord externe où s'attache la membrane basilaire, mais à partir de cette limite les fibres se dérobent à une observation précise et opposent de grands obstacles à la recherche de leur parcours. D'après les recherches très-attentives de quelques observateurs modernes, il est très-vraisemblable que les fibres nerveuses s'unissent aux cellules ciliées (*Haarzellen*) dont nous avons déjà parlé. On rencontre du moins ces cellules en très-grand nombre dans le limaçon des oiseaux, qui manque d'arcs de Corti, et l'on a pu remarquer avec quelque certitude, chez ces animaux, que les fibres nerveuses pénètrent dans ces cellules.

Il est plus que probable que les extrémités des fibres nerveuses sont irritées mécaniquement par les appareils vibrants du limaçon, parce qu'elles sont tiraillées ou comprimées par les vibrations de ces organes. Toute irritation de ce genre appliquée à un nerf cutané produirait de la douleur, mais l'irritation appliquée au nerf auditif y réveille une sensation spéciale, la sensation auditive, qui n'est perçue que lorsque le nerf a communiqué son excitation au cerveau. Nous pouvons admettre que chaque organe de Corti contient au moins une fibre nerveuse, de sorte que les divers tons sont transportés au cerveau par des fibres diverses, et c'est probablement la raison pour laquelle nous pouvons percevoir des différences si délicates de ton.

Nous devons encore examiner quelles sont les fonctions des otolithes et des cils, dans le vestibule et dans les ampoules. Nous n'avons évidemment point affaire ici avec des appareils accordés différemment pour la perception des tons. Il est donc très-vraisemblable que ces organes ne sont destinés qu'à la perception des bruits, puisqu'ils reçoivent des chocs

par les mouvements irréguliers du liquide labyrinthique, chocs qui irritent l'extrémité libre des fibres nerveuses. Le liquide des ampoules peut sortir et rentrer par d'étroites ouvertures et Helmholtz s'imagine qu'il y naît de véritables tourbillons qui mettent les cils en vibration. Mais on ne peut admettre que nous puissions percevoir un ton spécial, au moyen de ces organes, puisqu'ils ne paraissent pas être accordés; en tous cas ils ne pourraient distinguer que très-imparfaitement des tons différents. Par contre il est très-facile de comprendre qu'un bruit ou une détonation ébranlent suffisamment ces organes pour irriter les extrémités du nerf acoustique qu'on y rencontre.

Les appareils résonnants du labyrinthe, et surtout ceux du limaçon, possèdent encore l'importante propriété de ne point produire de sons consécutifs marqués, propriété que nous avons déjà reconnue à la membrane du tympan et aux osselets de l'ouïe. Cette propriété serait, du reste, inutile aux osselets si les organes de Corti ne la possédaient pas. Si ces organes produisaient des sons consécutifs il ne serait pas possible d'entendre exactement des trilles qui se composent habituellement de huit ou dix tons par seconde. Après un huitième ou un dixième de seconde les vibrations d'un ton sont assez effacées pour que le ton suivant ne puisse pas se confondre avec le premier. Ce résultat ne peut être obtenu dans le piano, comme on sait, que par une disposition particulière qui fait toucher la corde par un étouffoir, après chaque coup donné. Les organes résonnants de l'oreille n'ont point besoin d'étouffoir; ils possèdent, grâce à leur combinaison qui nous est encore imparfaitement connue, la propriété de se mettre rapidement en repos dès que la cause motrice a cessé d'agir.

Cependant Helmholtz a prouvé qu'on peut percevoir dans l'oreille un ton consécutif aux tons graves. Il est en effet remarquable, et ce fait est très-connu des pianistes, que pour des sons très-graves surtout à partir du *la* A les trilles deviennent très-imparfaits parce que les tons commencent à se mélanger. On pourrait croire que ce fait est dû à l'étouffement imparfait des sons et non à notre oreille. Mais Helmholtz a observé le

même fait sur d'autres instruments, par exemple sur le violoncelle où l'étouffement est produit par le doigt et sur le physharmonica dans lequel le ton disparaît quand on soulève le doigt. Nous pouvons donc admettre, d'après ces faits, que l'étouffement des sons dans l'oreille n'est point aussi parfait pour les tons graves, que pour les tons moyens et aigus.

Cette observation fournit encore, comme Helmholtz le fait remarquer, une preuve de l'existence d'appareils vibrants dans l'oreille, appareils accordés pour différentes élévations de ton. Car s'il n'existait dans le labyrinthe qu'un seul organe vibrant qui réagirait sur tous les tons, comme le font la membrane tympanique et les osselets, les tons consécutifs se feraient entendre d'une tout autre façon. Cet appareil posséderait alors un ton propre, et dès que l'onde sonore excitante cesserait son action, l'appareil ne produirait plus le même ton consécutif, mais vibrerait dans son propre ton ainsi qu'il est facile de le prouver par les lois physiques. Car lorsque nous imprimons à un ressort un mouvement qui ne correspond point à son ton propre, il passera immédiatement à ce dernier lorsque nous l'abandonnerons à lui-même. Si ce cas se présentait pour l'oreille, les deux tons les plus graves de la cadence ne se confondraient pas, mais il s'y mêlerait un troisième ton, le ton propre de l'oreille. Mais jamais nous n'entendons ce mélange, et comme nous ne percevons jamais un ton propre de l'oreille sauf celui du conduit auditif, les vibrations consécutives des tons graves ne peuvent être produites que par des organes particuliers parfaitement accordés et dont l'existence devient manifeste par cet effet.

Enfin Hensen a fait des observations intéressantes sur les organes auditifs de petits crustacés, observations qui démontrent parfaitement que certains organes vibrent à l'unisson. Ces animaux ont de petits sacs qui contiennent des otolithes et qui sont tapissés à l'intérieur de cils acoustiques. On trouve en outre à la surface de leur corps, aux antennes et à la queue des cils acoustiques que l'on peut observer directement avec le microscope. En dirigeant les sons d'un cornet à piston sur un

petit bassin rempli d'eau, et dans lequel se trouvaient ces animaux, Hensen put observer au moyen du microscope les vibrations de certains de ces cils et s'assurer que les différents cils étaient accordés pour des tons d'élévation différente. Ce fait prouve, presque jusqu'à la certitude, que les appareils vibrants de l'oreille humaine se comportent de la même façon, à cette différence près, que ces organes sont beaucoup plus compliqués, et que par conséquent la sensation auditive est beaucoup plus délicate et plus parfaite que chez ces crustacés.

CHAPITRE SIXIÈME

LA SENSATION DES TONS. — LE MONOCORDE. — L'OCTAVE ET SES DIVISIONS. — PERCEPTION DE SONS TRÈS-GRAVES ET DE SONS TRÈS-AIGUS. — L'EXCITATION DU NERF ACOUSTIQUE.

Un ton se produit chaque fois qu'un corps élastique exécute des oscillations régulières et périodiques avec une certaine rapidité et que ces vibrations sont transmises à notre oreille. Nous distinguons plusieurs particularités dans cette sensation, d'abord sa force ou son intensité, puis la hauteur du ton et enfin le timbre ou couleur du ton.

La force d'un ton dépend uniquement de l'élongation ou de l'amplitude de l'onde sonore. Si nous nous figurons une onde sonore sous la forme d'une onde à la surface de l'eau, l'élongation est représentée par la hauteur de l'onde aqueuse et la puissance et l'effet mécanique de cette onde s'accroît évidemment avec sa hauteur. Si nous examinons les vibrations d'une corde, nous verrons que l'intensité du ton augmentera avec la grandeur de l'élongation, pendant que le nombre des vibrations restera identiquement le même dans la seconde : plus par conséquent nous écartons la corde de sa position d'équilibre, plus le ton augmentera d'intensité, sans que sa hauteur augmente.

Il est clair d'après cela que les oscillations des corps élastiques obéissent aux mêmes lois que les oscillations du pen-

dule. Un pendule d'une longueur déterminée exécute toujours le même nombre d'oscillations par seconde, n'importe qu'elles soient longues ou courtes, entre certaines limites. Dans le premier cas la vitesse sera plus grande que dans le second, et il en sera de même pour une corde vibrante.

Les vibrations sonores de l'air sont longitudinales ; elles se composent de raréfactions et de condensations, et plus celles-ci sont fortes, plus le son ou le ton qui en résulte est intense lui-même. Les molécules aériennes exécutent un mouvement de va-et-vient, et plus leur élongation est grande, plus elles se rapprocheront et s'éloigneront entre elles, c'est-à-dire plus la condensation et la raréfaction qu'elles produisent seront considérables. Mais l'onde sonore conservera toujours la même longueur dans l'air, longueur qui lui est communiquée par la source du son. Pendant la propagation à travers l'air, l'intensité du ton diminuera avec le carré de la distance, comme pour la lumière, parce que la force des oscillations propagées de la distance une à la distance deux, se répartit sur une surface sphérique quatre fois plus grande. Sur chaque point de cette surface l'intensité ne sera donc pas $1/2$ mais $(1/2)^2 = 1/4$.

La hauteur du ton dépend de la longueur de ses ondes sonores. Plus la longueur de l'onde est étendue, plus le son est grave, plus l'onde est courte, plus au contraire le son est aigu.

Prenons pour exemple une corde en vibration ; la longueur de cette corde représentera aussi la longueur de la vibration sonore. Une corde de la longueur 1 exécute par conséquent des vibrations de moitié plus courtes que celles d'une corde de la longueur 2. Mais nous savons aussi que la première fait deux fois autant d'oscillations par seconde que la deuxième, et nous percevons par conséquent deux tons de hauteur différente dont l'un est appelé l'octave plus élevée du second. Nous pouvons donc aussi dire que *la hauteur du ton augmente en raison du nombre de vibrations produites dans l'unité de temps*.

Examinons maintenant les ondes sonores de différents tons, dans l'air, nous pouvons admettre que pour une certaine dis-

tance de la source sonore, nous trouvons dans l'intervalle un nombre déterminé d'ondes sonores que nous désignerons par n. Si nous faisons résonner l'octave de ce ton, nous trouverons dans le même intervalle un nombre double d'ondes, par conséquent $2\,n$. Mais toutes les ondes sonores, qu'elles soient grandes ou petites, sont transmises avec la même vitesse approximative et par conséquent $2\,n$ ondes parcourront la distance admise dans le même temps que n ondes, c'est-à-dire que pour le même espace nous rencontrerons $2\,n$ ondes dont chacune n'aura que la moitié de la longueur des ondes du ton à n vibrations.

Lors donc que nous entendons deux tons à l'octave, le ton le plus élevé transmettra à l'oreille, par seconde, deux fois autant d'ondes, mais qui n'auront que la moitié de la longueur de celles fournies par le ton le plus grave : et la membrane du tympan, ainsi que tous les appareils vibrants de l'oreille, reproduiront ces vibrations dans la même période. Il est très-remarquable que l'organe de l'ouïe possède un sentiment naturel et immédiat pour l'intervalle de l'octave. Deux tons dont le rapport des vibrations est 1 : 2 produisent sur notre oreille une impression très-analogue, et ceci tient probablement à la simplicité de leur rapport numérique. Malgré cela notre oreille ne nous indique pas l'existence des vibrations, et encore moins le nombre absolu de ces vibrations : les recherches physiques seules nous ont éclairés à ce sujet. Mais notre oreille est extraordinairement délicate à juger les différences d'élévations des tons, c'est-à-dire des rapports des oscillations, sans que pour cela nous percevions ces rapports eux-mêmes, mais ils se traduisent pour nous en sensation spéciale de tons. La physique seule nous a appris à traduire ces sensations de tons en rapports de vibrations.

Le grand philosophe et mathématicien Pythagore qui vivait 500 ans avant Jésus-Christ dans la basse Italie, et qui, par son fameux axiome, a posé les fondements des sciences mathématiques, est aussi le premier qui ait découvert la loi des cordes vibrantes. Il construisit le monocorde que la figure 79 repré-

sente sous la forme actuellement usitée par les physiciens. On raconte que Pythagore a été conduit à cette découverte en écoutant, dans une forge, le son plus ou moins élevé que produisaient les marteaux de différents calibres.

Le monocorde est formé d'une caisse en bois sur laquelle on peut tendre des cordes. Au moyen des chevalets *a* et *b* on peut limiter la portion vibrante de la corde. Les cordes sont tendues au moyen d'une cheville, ou bien on les fait passer d'abord du

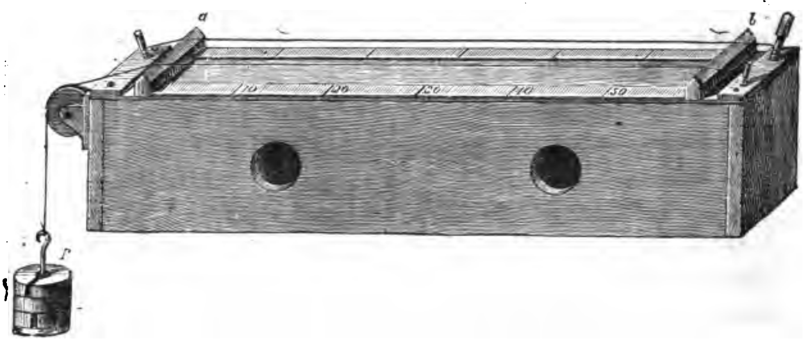


Fig. 79

chevalet *a* sur une poulie et on les tend au moyen de poids qu'on suspend au crochet *p* de l'extrémité. Par cette dernière méthode, on peut mesurer exactement la force de la tension par les poids qui sont suspendus à la corde, et l'on peut ainsi découvrir la relation qui existe entre l'élévation du ton et la tension de la corde.

Lorsque nous frappons ou que nous faisons vibrer avec un archet une corde tendue également, nous entendons un ton d'une élévation constante : Supposons que ce ton soit produit par n vibrations. Si la corde occupe 60 divisions de l'instrument, comme sur la figure, et que nous placions alors le chevalet *a* au trait marqué 30, la moitié de la corde nous donnera un ton plus élevé d'une octave. Si nous réduisons la corde au 1/4 nous aurons la seconde octave, le 1/8 nous donnera la troisième octave, le 1/16 de la corde nous donnera la quatrième octave et ainsi de suite. Nous remarquons ainsi que la sensa-

tion du ton perçue par notre oreille, et la longueur de la corde sont dans un rapport mathématique très-remarquable que l'on peut exprimer par les chiffres suivants 1 : 1/2 : 1/4 : 1/8 : 1/16, etc.

La mensuration au moyen de notre oreille est très-exacte, et de petites déviations de l'octave sont déjà perçues comme des discordances. Au moyen de notre ouïe, nous pouvons bien mieux mesurer la moitié d'une corde qu'au moyen de notre vue, car si nous essayons de réduire une corde à sa moitié au moyen de la vue, nous obtiendrons presque toujours un ton faux. Le violoniste qui change les tons de son instrument au moyen de la pression des doigts ne se sert jamais de la vision pour l'aider dans cette opération, et il se fie complétement à la sensation tactile et musculaire. Aussi dit-on communément que la virtuosité réside dans les doigts.

On ne peut douter que la distinction de l'octave nous est pour ainsi dire innée et que nous ne l'avons point apprise. Car lorsque nous chantons un air dans un ton bas à un enfant qui ne connaît rien de la gamme, mais qui possède une oreille musicale, il répètera la mélodie conformément à la hauteur de sa propre voix, dans une octave supérieure. On remarque en outre fréquemment que les personnes qui n'ont point appris à chanter passent, d'après leur convenance, d'une octave à l'autre, en chantant une mélodie.

Deux tons séparés entre eux par un intervalle d'une ou de plusieurs octaves, nous semblent donc beaucoup plus semblables, quant à leurs qualités, que tous les autres tons. La physique nous a aussi prouvé que le nombre des vibrations produites se modifie dans le rapport des longueurs des cordes vibrantes. Lorsqu'une corde de la longeur 1 fait n oscillations par seconde, une corde de la longueur 1/2 fera dans le même temps $2\,n$ oscillations et nous en concluons que l'octave est produite lorsque notre oreille reçoit un nombre double de vibrations. Le rapport si simple 1 : 2 des vibrations est cause que notre oreille perçoit deux sensations très-semblables et nous sommes par conséquent forcés d'admettre que, grâce à sa structure, il existe dans

notre oreille une *harmonie préétablie* qui lui permet de sentir cette similitude de sons.

Mais la question dont nous nous occupons n'est pas complétement éclaircie par ce que nous venons d'établir et le problème que Pythagore a proposé à l'humanité pensante, il y a 2500 ans déjà, n'a été résolu complétement que par les recherches de Helmholtz. L'harmonie préétablie entre la structure de notre oreille et les rapports des vibrations des tons, est basée uniquement sur l'existence des appareils vibrants de l'oreille, dont les vibrations obéissent aux mêmes lois que les vibrations de tous les corps élastiques. Lors donc que nous entendons deux tons de l'intervalle d'une octave, deux organes de Corti se mettent à vibrer dans le labyrinthe et le nombre des vibrations de ces organes coïncide avec celui des tons et sont par conséquent entre eux dans le rapport de 1 : 2.

Deux tons à l'octave nous paraissent si semblables parce que le second est déjà virtuellement contenu dans le premier et peut être produit avec la plus grande facilité par celui-ci. Examinons une corde en vibration, on peut, avec la plus grande facilité la diviser en deux parties égales, dont chacune vibre alors isolément et produit le double de vibrations puisqu'elle est de moitié moins longue. Nous parlerons plus tard avec plus de détails de cette division des corps vibrants lorsque nous nous occuperons des tons supérieurs ; faisons simplement remarquer que l'on appelle l'octave ainsi produite le premier ton supérieur ou le premier ton partiel du ton fondamental.

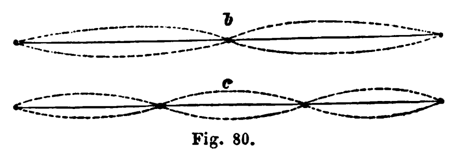


Fig. 80.

La figure 80 nous représente de quelle manière une corde vibrante peut se diviser en deux *b* ou trois *c* portions dont chacune vibre en particulier. En un mot, si nous partons du principe physique que chaque ton contient déjà son octave, il faut admettre que, dans l'audition d'un ton, l'octave résonne plus ou

moins au même instant et que par conséquent l'organe vibrant à l'unisson de cet octave, dans le labyrinthe, sera aussi légèrement mis en mouvement. C'est cette espèce d'accord qui fait l'analogie entre deux tons offrant l'intervalle désigné.

La division de tous les tons perceptibles en octaves est donc commandée par la nature et fondée sur les lois physiques et physiologiques. Cette déduction nous paraîtra encore plus claire lorsque nous aurons étudié la nature de la consonnance et de la dissonnance. Je fais remarquer seulement ici que l'octave est la consonnance la plus parfaite, ce qui est fondé sur le nombre de leurs vibrations qui sont dans le rapport de 1-2. On peut donc aussi dire que l'octave est l'intervalle de la consonnance la plus parfaite.

La musique a divisé la série des tons compris dans l'octave en sept intervalles, d'où l'on a fait dériver le nom d'*octave*, puisque celle-ci est toujours formée par le huitième ton. Les dénominations admises pour ces tons sont do, ré, mi, fa, sol, la, si. Dans cette échelle des tons l'intervalle entre mi et fa et entre si et do est à peu près la moitié seulement de l'intervalle des autres tons. Les intervalles entre ces derniers sont nommés tons entiers; les intervalles compris entre mi et fa, si et do sont nommés demi-tons.

Les physiciens ont étudié avec beaucoup d'exactitude les rapports des vibrations de l'échelle des tons, au moyen des sirènes ou d'autres instruments et d'après des méthodes déjà indiquées précédemment.

Les nombres des vibrations des divers tons ont les rapports suivants :

$$\text{do} : \text{ré} : \text{mi} : \text{fa} : \text{sol} : \text{la} : \text{si} : \text{do}'$$
$$1 : \tfrac{9}{8} : \tfrac{5}{4} : \tfrac{4}{3} : \tfrac{3}{2} : \tfrac{5}{3} : \tfrac{15}{8} : 2$$

$$\text{ou} \quad 8 : 9 : 10 : 10\tfrac{2}{3} : 12 : 13\tfrac{1}{3} : 15 : 16.$$

c'est-à-dire que si *do* fait une vibration *ré* en fera $\frac{9}{4}$, *mi* $\frac{5}{4}$, *fa* $\frac{4}{3}$, *sol* $\frac{3}{2}$, *la* $\frac{5}{3}$, *si* $\frac{15}{8}$, *do'* 2, ou bien si *do* fait 8 vibrations *ré* en fera 6, *mi* 10, *fa* 10 $\frac{2}{3}$, *sol* 12, *la* 13 $\frac{1}{3}$, *si* 15 et 16. Nous voyons que le rapport des vibrations entre *fa* et *mi* = 10 $\frac{2}{3}$:

10 est plus petit qu'entre *mi* et *ré* = 10 : 9 et que le rapport entre *do'* et *si* = 16 : 15 est de même plus petit que celui des autres tons entiers, par exemple, celui de *si* et *do* = 15 : 13 $\frac{1}{3}$. On appelle l'intervalle entre un premier et un troisième ton, par exemple entre *do* et *mi*, une *tierce;* l'intervalle compris entre quatre tons, une *quarte* de *do* à *fa*, par exemple; l'intervalle compris entre cinq tons, *quinte* de *do* à *sol* par exemple, etc., jusqu'à l'octave de *do* en *do*. On parvient facilement à se convaincre de ces relations entre les vibrations, au moyen d'une sirène polyphone. La sirène polyphone que nous avons représentée dans sa forme la plus simple par les figures 58 et 81 possède quatre séries d'ouvertures, qui, prises du centre à la circonférence, comprennent 12, 16, 18 et 24 trous. Les nombres présentent le même rapport que le nombre des vibrations de *do*, *mi*, *sol*, *do*, c'est-à-dire comme 1 : $\frac{4}{3}$: $\frac{3}{2}$: 2. Lorsque nous faisons souffler un courant d'air successivement sur chaque série, en conservant au disque la même rapidité de rotation, nous obtenons successivement les tons dénommés. Les séries de trous peuvent naturellement en contenir aussi 8, 10, 12, 16; elles produiront le même effet. On a aussi transformé la sirène de la figure 59 en sirène polyphone en y pratiquant plusieurs séries de trous que l'on peut fermer ou ouvrir au moyen de clapets.

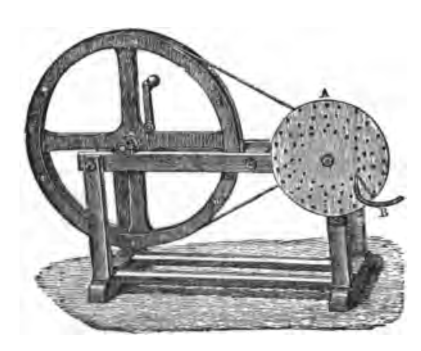


Fig. 81.

Un autre appareil qui nous démontre aussi les mêmes relations, c'est la roue de Savart. Cet appareil consiste en une ou plusieurs roues dentées qui peuvent être mises en rotation rapide. Lorsqu'on effleure, avec le bord d'une carte à jouer, les dents de la roue, il se produit, lorsque le mouvement est assez rapide, un ton dont la hauteur dépend du nombre de chocs que

produisent les dents. En appliquant sur un même axe diverses roues dentées dont les dents offrent la relation 8 : 10 : 12 : 16 nous entendrons aussi la série *do*, *mi*, *sol*, *do'* des tons. Au moyen de la roue de Savart nous pouvons calculer le nombre absolu de tous les tons usités en musique ; il suffit d'appliquer à la machine un compteur qui marque exactement le nombre de tours que la roue dentée exécute par seconde.

On se sert en musique de sept octaves en tout. On désigne la plus basse par *do* (contre octave), les autres par do, do', do'', do''', do''''. En Allemagne et en Angletterre, on est convenu d'adopter pour le ton *la'* le nombre de 440 vibrations [1]. Une table calculée par Helmholtz sur cette base nous donne le nombre des vibrations des diverses notes de musique.

NOTES.	Contre octave. DO, à SI,	Grande octave. DO à SI	Octave sans signe DO à SI	Octave première. DO' à SI'	Octave seconde. DO'' à SI''	Octave troisième. DO''' à SI'''	Octave quatrième DO'''' à SI''''
DO	33	66	132	264	528	1056	2112
RÉ	37,125	73,25	148,5	297	594	1188	2376
MI	41,25	82,5	165	330	660	1320	2640
FA	44	88	176	352	704	1408	2816
SOL	49,5	99	198	396	792	1584	3168
LA	55	110	220	440	880	1760	3520
SI	61,875	123,75	247,5	495	990	1980	3960

Nous remarquons dans cette table que les nombres de la même octave présentent les rapports précédemment indiqués et que les nombres de l'octave suivante sont toujours doubles de ceux de la précédente.

Nos pianos commencent habituellement par le Do, de 33 vibrations, ou avec le LA, plus grave, de 27,5 vibrations : ils montent jusqu'au *la''''*, de 3520 vibrations.

1. On sait que les vibrations françaises ne sont que des demi-vibrations allemandes. Il faut donc multiplier par 2 le nombre des vibrations données dans cet ouvrage.

Il est très-intéressant de rechercher quel est le plus petit nombre de vibrations capables de produire la sensation d'un ton. Savart avait déjà essayé de résoudre ce problème au moyen de l'appareil suivant. Une grande roue (fig. 82), mue au moyen d'une manivelle, fait tourner la petite roue *r*, en exerçant un frottement à sa périphérie. Sur l'axe de la petite roue on a fixé un bâton *ab* qui passe exactement à travers la fente *cd* pratiquée dans la planche *gf* et qui la traverse à chaque rotation. Ces chocs successifs produisent un ton d'une très-grande inten-

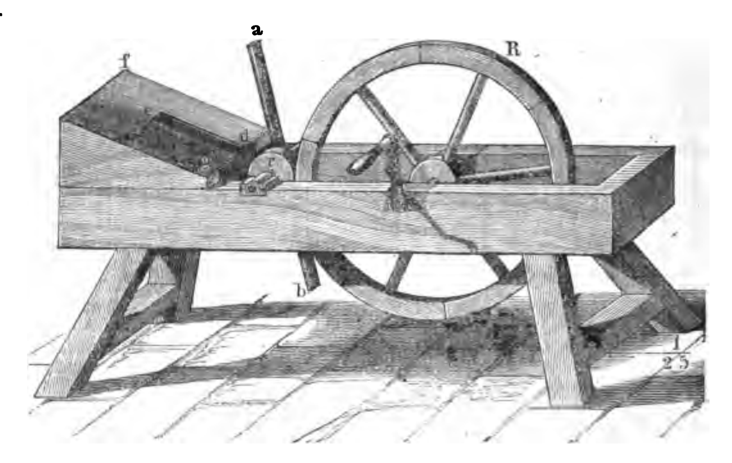


Fig. 82 [1].

sité et Savart dit avoir entendu un ton d'intensité égale par 7 ou 8 coups. Cependant le caractère musical des tons au-dessous de 30 vibrations est très-incomplet, c'est pourquoi ils ne sont point employés en musique. Helmholtz croit que les tons entendus par Savart sont les tons supérieurs du ton fondamental de 7 ou 8 vibrations. D'après ses expériences sur des tuyaux d'orgue fermés, qui ne possèdent que des tons supérieurs très-faibles, et sur des diapasons très-grands, le caractère musical d'un ton ne se produit qu'avec 28 à 30 vibrations. Les tons plus graves ne produisent que du bourdonnement ou du fracas dans l'oreille.

1. Tiré de la physique de Muller-Pouillet.

C'est dans l'appareil nerveux de l'ouïe que les vibrations isolées se combinent, pour former un ton. Nous pouvons comparer ce phénomène avec la contraction permanente d'un muscle que nous pouvons produire au moyen d'excitations se succédant rapidement. Lorsque nous faisons par exemple agir huit ou dix secousses électriques par seconde sur un muscle, ce muscle ne s'allongera pas complétement après chaque secousse, et si nous augmentons encore la rapidité de l'action, le muscle restera contracté d'une manière durable pendant tout le temps de l'influence électrique. Le nerf acoustique ne sera pas non plus irrité d'une manière permanente dans l'oreille par les appareils vibrants, mais il sera irrité avec de rapides interruptions. Mais notre sens auditif, dont nous devons rechercher le siége dans le cerveau, combine ces excitations qui se suivent rapidement, comme le fait le muscle, et c'est de cette combinaison que résulte la perception du son.

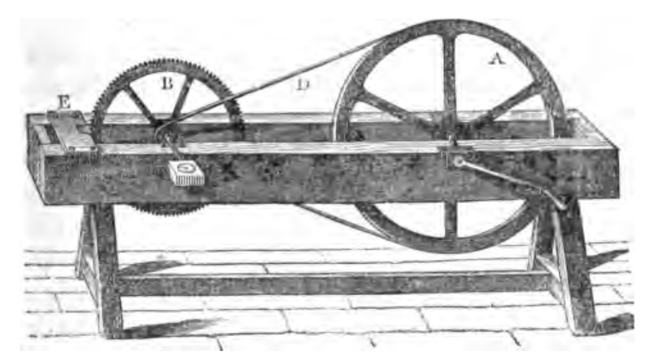


Fig. 83.

Il est encore d'un grand intérêt de savoir quels sont les tons les plus élevés que nous puissions percevoir. Savart a aussi fait des expériences sur ce point, au moyen d'une roue. La roue dentée B est mise en rotation rapide par la roue A munie d'une courroie : les dents de la roue vont frapper le bord d'une carte qu'on en approche au moyen du petit curseur E. La roue qu'employait Savart avait 720 dents et pouvait produire

24,000 chocs par seconde. Le ton produit était très-faible mais encore parfaitement perceptible. Despretz a produit, au moyen de très-petits diapasons, un ton composé de 38,016 vibrations : mais les tons de cette acuité étaient désagréables et même douloureux pour l'oreille. Nous reconnaissons par là qu'on ne peut indiquer une limite exacte pour la perception des tons très-élevés. Mais nous pouvons certifier qu'au dessus de la septième octave, c'est-à-dire au delà du *do''''*, les tons perdent leur caractère musical agréable et, qu'à partir de cette note, l'estimation d'un ton devient de plus en plus incertaine. Nous pouvons donc admettre avec quelque raison que l'organe destiné à la perception musicale est accommodé pour sept octaves environ et c'est cette organisation que nous avons rencontrée dans les organes de Corti qui se trouvent dans le labyrinthe.

La condition essentielle d'une perception auditive, consiste, d'après ce que nous venons de voir, dans un mouvement qui se répète en périodes régulières et avec une certaine rapidité. Un seul choc ne peut jamais produire un ton : et lorsque la roue de Savart ne présente *qu'une* dent, il ne se produit point de ton lorsqu'on en approche la carte. Mais on a observé par contre que deux dents, situées l'une près de l'autre, suffisent déjà pour produire un ton et ce ton est absolument le même que lorsque la série des dents est complète. Il y a cependant une différence, c'est que ce ton n'est pas continu mais qu'il ne se produit que par intervalles. La cause de ce phénomène est évidente, car la période est restée la même quoiqu'elle ne soit occasionnée que par deux chocs. Mais il est intéressant de constater que deux chocs successifs suffisent déjà pour produire la sensation d'un ton et que la rapidité avec laquelle ces chocs se suivent détermine exactement la hauteur du ton.

Pour comprendre maintenant comment il est possible que nous soyons capables de percevoir une si grande série de tons différents, il faut que nous jetions encore une fois un regard sur les organes de Corti et sur la distribution des fibres nerveuses dans ces organes. Le nerf ayant pénétré dans l'axe du limaçon se divise en fibres extraordinairement ténues et cha-

cune de ces fibres pénètre isolément dans un des appareils vibrants qui les mettent en état d'excitation. Lorsqu'un ton déterminé se produit, il est évident que le nerf tout entier n'est pas mis en état d'excitation, mais qu'un certain nombre de fibres seulement (celles qui se rendent aux organes vibrants à l'unisson du ton) sont excitées.

L'audition de tons différents par leur acuité, ne consiste donc en définitive, que dans une excitation de fibres différentes du nerf acoustique. Le cerveau reçoit au moyen de fibres diverses du nerf acoustique l'annonce de tons d'acuité différente et il reconnaît, pour ainsi dire, les organes qui ont vibré à l'unisson des tons produits. Cette reconnaissance est sans doute tout à fait inconsciente, comme beaucoup d'autres capacités que nous avons acquises par l'exercice, comme nous reconnaissons par exemple les nerfs et les muscles que nous faisons mouvoir, sans avoir pour cela le sentiment de l'existence de ces organes.

L'entremise de différentes fibres nerveuses du nerf acoustique pour provoquer la sensation de tons divers, est un procédé qui se relie à des phénomènes analogues dans le domaine de la physiologie des sens. On peut la faire dériver de cette propriété particulière qu'on a nommée *énergie spécifique* des nerfs sensitifs et que nous avons déjà appris à connaître à l'occasion du nerf optique. On sait que ce dernier nerf répond toujours par une sensation lumineuse aux excitations diverses qui y sont appliquées, qu'elles soient mécaniques, électriques ou lumineuses : on sait encore que ce nerf contient trois sortes de fibres diverses destinées aux trois couleurs fondamentales : le rouge, le vert et le violet. Dans le nerf acoustique ce principe de la division du travail est encore poussé plus loin. Chaque fibre nerveuse de ce nerf est destinée à être irritée par un seul ton, de hauteur exactement déterminée, et ne peut jamais servir à rendre sensibles d'autres tons.

Nous pouvons par conséquent admettre que, si des fibres isolées du limaçon sont irritées par un autre moyen que par le ton, par l'électricité ou par une force mécanique par exemple,

elles feront naître le ton qu'elles sont destinées à percevoir. On entend en effet des tons et des bruissements lorsqu'on fait passer des courants électriques à travers la tête et que le nerf acoustique est ainsi irrité dans son ensemble. On a en outre observé des malades qui ont perpétuellement la sensation subjective d'un ton spécial dans l'oreille, et l'on a expliqué ce fait par l'irritation de quelques fibres nerveuses des organes de Corti, produite par des altérations morbides. On a encore observé, chez certains malades des surdités partielles, ne portant que sur une série particulière de tons, et l'on en a conclu que dans ces cas un certain nombre d'organes de Corti étaient détruits.

CHAPITRE SEPTIÈME

LE TIMBRE. — NAISSANCE DES SONS HARMONIQUES OU HYPERTONS. — LEUR OBSERVATION AU MOYEN DES RÉSONNATEURS. — REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DU COLORIS DU TIMBRE.

Nous savons par expérience que les tons de divers instruments et de la voix humaine se distinguent entre eux par leur *timbre* ou par le *coloris*. Lorsque nous chantons un ton de hauteur déterminée, le *la* par exemple, et que nous faisons résonner le même ton par un piano, par un violon, une flûte, une trompette ou un orgue, nous obtenons toujours un ton qui exécute 440 vibrations par seconde et cependant il diffère complétement par le timbre, selon l'instrument qui produit le son. D'où vient cela ?

Nous sommes obligés de considérer de nouveau la nature des vibrations pour trouver la cause de ce phénomène. Comme les tons des différents instruments cités exécutent tous, pour la même hauteur, le même nombre de vibrations, ce n'est pas le nombre de ces vibrations qui peut déterminer le timbre du ton, et nous sommes obligés de chercher la cause du timbre dans d'autres propriétés des vibrations isolées.

Les musiciens savent depuis longtemps que chaque ton de nos instruments est accompagné par une série de tons spéciaux plus élevés. On a donné, en acoustique, à ces tons le nom de *tons harmoniques* ou *hypertons* du ton fondamental.

Lorsque nous touchons le *do* d'un piano, une oreille musicale exercée demêlera dans ce ton le ton de l'octave immédiatement supérieure, le *do'*. On peut rendre ce ton encore plus sensible au moyen de certains appareils dont nous parlerons plus longuement dans la suite.

La production de ces tons, qui a été examinée d'une manière ingénieuse par Helmholtz, est facilement comprise par l'examen d'une corde en vibration. Examinons une corde tendue en vibration et nous verrons que le phénomène consiste essentiellement en une courbure alternative d'un côté et de l'autre exécutée par la corde; mais le phénomène ne reste pas dans cet état de simplicité, d'autres mouvements encore viennent s'y ajouter. Une corde en vibration a la tendance de se séparer en deux moitiés, dont chacune vibre à son tour en particulier, comme l'indique la figure 80, *b*. Nous pouvons concevoir que lorsque la corde entière exécute ses vibrations, chaque moitié produit ses vibrations propres et c'est ainsi qu'un premier hyperton plus faible s'associe au ton fondamental. Il est évident que ce ton doit être l'octave du ton fondamental, car comme il est produit par les vibrations de la moitié de la corde, le nombre de ces vibrations doit être nécessairement le double de celui des vibrations du ton fondamental. Pendant que la corde entière exécutera *une* vibration, les deux moitiés en exécuteront par conséquent *deux*.

Mais d'autres complications s'ajoutent encore à la première. La division de la corde en deux moitiés n'est pas la seule qui se produit, il se forme encore d'une manière moins marquée une division manifeste en trois parties, comme le représente la figure 80, *c*. Chacune de ces trois parties vibre en particulier et nécessairement trois fois plus vite que la corde entière, et cette vibration produit le second ton harmonique. Si nous admettons que ces trois modes de vibration sont combinés entre eux, nous obtiendrons, pour chaque point de la corde, un mouvement déjà très-compliqué, mais que nous pouvons composer en assemblant les mouvements isolés.

Mais le phénomène n'est pas achevé par la division en trois,

et la corde se divise successivement en quatre, cinq, six parties, etc., et tandis que le 1/4, le 1/5, le 1/6, etc., de la corde exécutent leurs vibrations particulières, il en résulte toute une série de tons harmoniques qui suivent une loi très-précise. Ces tons deviennent de plus en plus faibles, d'après leur hauteur, de manière que le ton fondamental prédomine toujours : mais ils donnent au ton fondamental un caractère propre : la *couleur du timbre.*

On peut facilement s'assurer de l'existence des tons harmoniques par quelques essais sur une corde et l'on peut en même temps spécifier leur élévation. On peut se servir pour ces essais d'un monocorde, mais on réussit aussi bien avec la corde d'un piano ou celle d'un violon. Mesurons d'abord exactement la moitié d'une corde que nous supposons donner le *do :* nous réussirons facilement si nous soutenons la corde au moyen du doigt et que nous déplacions ce doigt jusqu'à ce que la moitié pincée ou frottée avec un archet fasse entendre l'octave *do'*. Laissons maintenant l'indicateur gauche couché légèrement sur le milieu et tirons la corde fortement un peu au delà du milieu avec la main droite et donnons alors rapidement avec l'indicateur gauche une petite secousse; nous étoufferons ainsi le ton fondamental et une série de tons harmoniques, tandis que le premier son harmonique se fera sentir distinctement, puisque les vibrations des deux moitiés de la corde n'ont point été troublées. Mais ce ton a dû nécessairement préexister.

Nous parvenons de la même façon à faire parvenir des tons harmoniques plus élevés en plaçant le doigt étouffoir sur le 1/3, le 1/4, etc., de la corde. Ces tons sont alors d'autant plus faibles qu'ils sont plus élevés.

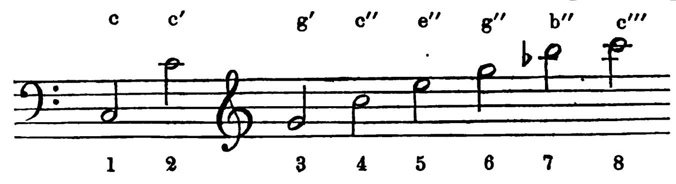
C'est le ton fondamental qui détermine la hauteur de tous les hypertons. Car pendant que le ton fondamental fait une vibration, le premier ton harmonique en fera deux, le deuxième harmonique en fera trois, le troisième, quatre, le quatrième cinq et ainsi de suite. Si le ton fondamental est par exemple *do*, la série des tons harmoniques sera *do' sol' do' mi' sol' si' do'*, car pendant que *do* fait une vibration *do'* en fera deux, *sol'*

trois, *do''* quatre, *mi''* cinq, *sol''* six, *si''* sept et *do'''* huit.

On peut démontrer encore par une expérience spéciale connue par presque tous les violonistes qu'une corde peut se trouver dans un mouvement de vibration tel que les deux moitiés, les troisièmes, les quatrièmes parties de cette corde vibrent en particulier. Lorsqu'on place légèrement un doigt sur le milieu d'une corde, sans exercer de pression, et qu'on la fait résonner, elle donnera son octave mais avec un timbre très-doux qu'on applique souvent en musique et que l'on a nommé la sourdine. Si nous appliquons le doigt sur le tiers de la corde nous obtiendrons la quinte de l'octave. Dans ce cas ce n'est point seulement le tiers touché qui se met en vibration, les deux autres tiers vibrent de même chacun en particulier, comme le montre la figure 80, *c*. Au milieu de ces deux tiers on rencontre alors un point en repos, et l'on peut s'en assurer de la façon suivante. On place une très-petite bande de papier pliée, comme cavalier, sur la corde ; ce cavalier sera démonté par les vibrations de la corde : mais si nous plaçons ce cavalier sur le point de séparation, il restera en place quoique la corde résonne. On appelle les points qui restent en repos des *points nodaux*.

Si nous appliquons le doigt sur le quart de la corde nous obtenons par l'archet la seconde octave. La corde vibrante se divise en quatre portions égales, séparées par les trois points nodaux, et en procédant successivement ainsi on obtient des tons de sourdine encore plus élevés.

On reconnaît alors que les tons de sourdine correspondent exactement aux tons harmoniques puisqu'ils sont produits par



des divisions de la corde correspondantes à des nombres entiers. Exprimés en notes les sept premiers tons harmoniques donneront la figure ci-dessus. Si nous admettons comme ton fondamental le *do*, les nombres inférieurs indiquent la relation

qui existe entre les nombres des vibrations. Les intervalles qui existent entre deux tons harmoniques successifs sont donc les suivants, 1) octave, 2) quinte, 3) quarte, 4) grande tierce, 5) petite tierce, 6) grande seconde, etc.

On voit que les intervalles entre les sons harmoniques deviennent de plus en plus petits. Par conséquent, plus les tons harmoniques sont élevés, plus ils deviennent indistincts et plus il est difficile de les distinguer les uns des autres.

Il est très-difficile à une oreille inexpérimentée de reconnaître dans un timbre les tons harmoniques qui y sont contenus. L'oreille est habituée à considérer un ton comme un tout et le ton fondamental est tellement dominant qu'il est difficile de diriger notre attention ailleurs. Helmholtz a inventé un appareil très-important et très-commode qui nous permet d'exclure dans l'observation de ces tons, toute incertitude et toute illusion. Il se sert dans ce but de *résonnateurs*, sphères creuses munies de deux ouvertures, comme la figure 84 nous en présente un exemple. Le bout pointu du résonnateur est introduit dans l'oreille et si un ton correspondant au ton propre du résonnateur se produit, nous l'entendons considérablement renforcé.

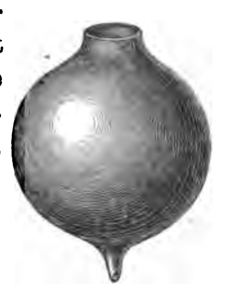


Fig. 84.

Le ton propre du résonnateur est tout à fait déterminé comme celui de tout espace aérien limité, par exemple celui de la flûte, etc., et nous trouvons ce ton lorsque nous soufflons dans le résonnateur par sa grande ouverture. Ce son est d'autant plus élevé que la sphère est plus petite et d'autant plus grave que la sphère est plus considérable. Dès qu'un ton semblable à celui du résonnateur se produit dans le voisinage, le résonnateur vibre par influence et le ton est augmenté. Par contre tout autre ton est étouffé par lui, ce que nous reconnaissons facilement si nous bouchons l'autre oreille et que nous empêchons toute transmission de son autre que par le moyen du résonnateur.

Pour reconnaître par cette méthode les tons harmoniques,

on est obligé de se servir de toute une série de résonnateurs de grandeur différente. On donne avec un instrument un ton fondamental et l'on applique à l'oreille les résonnateurs qui correspondent aux harmoniques de ce ton. Ces harmoniques seront alors perçus par l'oreille, s'ils accompagnent avec plus ou moins d'intensité le son fondamental.

Helmholtz a étudié d'après cette méthode les tons de différents instruments de musique et ceux de la voix humaine. Le résultat de ces recherches peut être résumé en peu de mots :

1° Il n'y a presque pas d'instruments de musique dont les tons ne sont pas accompagnés de tons harmoniques ;

2° Le nombre et la force des tons harmoniques qui résonnent en même temps que le ton fondamental, diffèrent dans les divers instruments et produisent par là le timbre particulier de chacun de ces instruments.

Tous les instruments usités dans la musique présentent des tons harmoniques mélangés à leur ton propre. Nous n'avons jusqu'ici examiné la production de ces tons harmoniques que sur des cordes, mais tout autre corps élastique vibrant a la tendance de produire des tons harmoniques, par la division des vibrations. Dans un espace aérien clos, cette tendance est très-peu prononcée, ce que l'on peut apercevoir lorsque nous soufflons par exemple dans une bouteille ou dans un résonnateur. Les vibrations d'un diapason se rapprochent aussi des formes vibratoires les plus simples et ne sont accompagnées que de tons harmoniques faibles. D'après Helmholtz on peut produire un ton purifié complétement de ses harmoniques, en fixant un diapason sur une caisse reposant sur des tuyaux de caoutchouc, afin que le ton ne soit point transmis au sol, et en plaçant devant lui l'ouverture d'un résonnateur qui possède le même ton. Les tons harmoniques du diapason et du résonnateur s'effacent alors mutuellement et il ne reste qu'un ton pur mais renforcé.

Sur la fig. 85 nous voyons représenté, d'après Helmholtz, un appareil par lequel un diapason *a* est mis en vibration permanente au moyen d'un électro-aimant *bb*. Le résonnateur *i* est muni d'un clapet *m* qui, lorsqu'il est éloigné de l'ouverture,

permet au ton du diapason de se produire. Nous apprendrons plus tard à connaître l'usage de cet instrument.

Lorsque nous faisons attention au ton produit par un diapason ou par un espace aérien clos, dans lequel nous soufflons, ce ton nous paraîtra sans doute très-pur, mais *creux* et *vide*. Le ton nous paraît sans force et ne nous contente pas : il manque, peut-on dire, de tout caractère et ce manque est évidem-

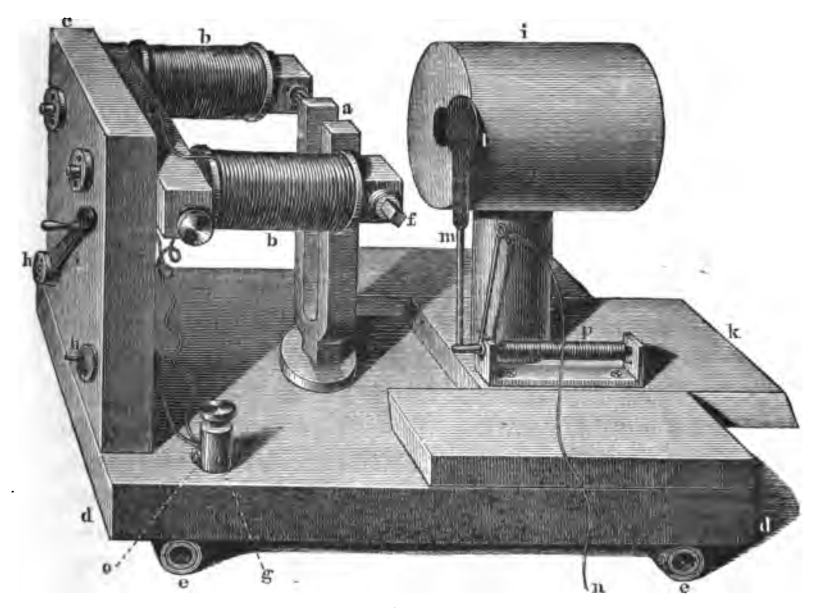


Fig. 85.

ment causé par l'absence ou la faiblesse des tons harmoniques. Ce sont ces derniers tons qui produisent le timbre.

On distingue donc en acoustique le *ton* et le *timbre*.

Le *ton* est formé par des vibrations simples, qui ne contiennent pas de vibrations de tons harmoniques et qui sont analogues par leurs formes aux oscillations d'un pendule.

Le *timbre* est un ton composé qui, outre le ton fondamental, comprend encore une série de tons harmoniques et est par conséquent composé de vibrations de forme plus ou moins compliquée.

On peut se faire une idée exacte des diverses formes que peuvent adopter les vibrations des timbres en se servant, pour les représenter, des appareils graphiques ou enregistreurs. Si nous nous figurons les vibrations d'un diapason tracées sur le cylindre rotateur, comme nous l'avons déjà expliqué antérieurement, nous obtenons une image de la forme vibratoire. La ligne horizontale de la figure 86 que l'on appelle l'abcisse, dé-

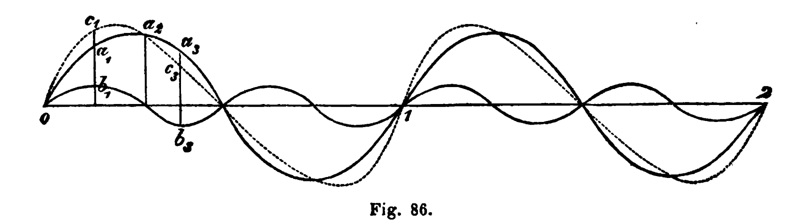


Fig. 86.

signe le temps, car elle indique combien il a fallu de temps pour qu'une vibration soit achevée. La courbe nous représente, sous la forme d'ondulations, les vibrations du diapason, la hauteur de l'ondulation désigne l'amplitude ou l'élongation d'une vibration et sa longueur désigne la durée d'une vibration. Car il est évident que si les vibrations du diapason deviennent plus grandes les ondulations de la courbe augmenteront de hauteur, et que si ces vibrations deviennent plus faibles les ondulations deviendront plus longues et plus étendues.

Le diapason accomplit une vibration complète entre les points o et 1, cette vibration est marquée $o\ a_1\ a_2\ a_3\ 1$; pendant ce temps une *période* de vibration s'est écoulée. Une autre période débute en 1 et, comme le mouvement est absolument le même dans sa direction et dans sa succession, elle s'arrêtera en 2 en produisant une section de courbe tout à fait identique à la première. La partie de la courbe située au dessus de l'abcisse marque le mouvement de la vibration dans un sens, la partie située au-dessous de l'abcisse marque le mouvement dans le sens opposé. Si nous avions affaire à une onde aérienne nous pourrions considérer la partie supérieure ou convexe de la courbe comme correspondant à la condensation de l'air et

la partie inférieure ou concave comme correspondant à la raréfaction. La réunion de ces deux portions constitue un mouvement entier de l'onde, une période complète de vibration.

Une courbe de cette nature tout à fait symétrique dans ces portions, c'est-à-dire s'élevant et s'abaissant avec la même rapidité et qui par sa forme représente avec une exactitude mathématique la loi des oscillations du pendule, une telle courbe, dis-je, nous donne aussi une image des vibrations d'un ton simple. C'est ainsi que les vibrations d'un diapason ou d'un espace aérien clos sont approximativement constituées et qu'elles font par conséquent une impression si particulière sur notre oreille.

Nous voulons maintenant examiner quelles modifications subit une vibration de ce genre lorsqu'un ton harmonique vient s'y joindre. Représentons par ob_1 b_2 la courbe produite par la première harmonique. Ce ton fait deux vibrations pendant que le ton fondamental en fait une; il s'est par conséquent écoulé deux périodes entre *o* et *1*. Pour combiner les deux tons nous devons supposer qu'un point du corps vibrant, par exemple le crayon du diapason, est forcé de suivre en même temps le mouvement des deux vibrations. Supposons encore que ce point a accompli son mouvement jusqu'en a_1, il se sera donc éloigné d'une certaine distance de son point de repos; cet éloignement n'est pas mesuré, comme on pourrait le croire, par la distance entre *o* et *a;* il faut en effet remarquer que, pendant le tracé de la courbe, le cylindre sur lequel elle est dessinée a fait une rotation lorsque le crayon est en a_1. La distance de ce point au point de repos est donc marquée par la perpendiculaire (a), à l'abcisse, perpendiculaire qu'on appelle en géométrie une *ordonnée.*

Supposons encore que lorsque la courbe du ton fondamental a atteint le point a_1, la vibration du ton harmonique soit exactement au maximum de son amplitude. L'ordonnée b_1 nous donnera la mesure de cette amplitude et, si nous supposons les deux vibrations combinées, nous n'avons qu'à additionner les

ordonnées pour trouver la position du point vibrant dans le ton combiné. Nous obtenons de cette façon une nouvelle forme de vibration. L'ordonnée c_1 de cette nouvelle courbe est la somme de a_1 et b_1. Par contre c_2 est la différence entre a_2 et b_2 parce que en a_2 le mouvement s'est fait en montant, tandis qu'en b_2, le mouvement s'est fait en descendant. Si, par conséquent, nous additionnons toutes les abcisses qui se présentent du côté montant et si au contraire nous soustrayons l'une de l'autre toutes les ordonnées du côté opposé et si nous portons les sommes et les différences sur l'abcisse à des intervalles égaux, nous obtenons une courbe ponctuée qui diffère considérablement de la courbe primitive. Sa montée est plus rapide au début, elle atteint plus vite son maximum et sa portion descendante est plus étendue et moins rapide. Naturellement la partie concave de la courbe sera symétrique à la partie convexe.

Il se produit ainsi une forme toute nouvelle de vibration qui produira sur notre oreille une impression différente et toute particulière. Ce n'est point la hauteur de ce ton composé qui s'est modifié; car nous reconnaissons parfaitement que pendant le temps compris entre *o* et *1* toute une période de vibration a dû s'achever. La période de vibration, ou pour mieux dire, le nombre des vibrations des deux tons est absolument le même et par conséquent la hauteur du ton a dû rester la même. Mais le timbre des deux tons est tout à fait différent.

Nous pouvons donc tirer la conclusion suivante : *Le timbre dépend de la forme de l'onde sonore.*

Outre la forme c, c_2 nous pouvons encore nous représenter d'autres formes d'ondes sonores ayant la même période de vibration. Supposons qu'à ces deux premiers tons réunis vienne encore s'ajouter la seconde harmonique qui fait trois vibrations dans la période de *o* à 1, la nouvelle forme de vibration deviendrait nécessairement encore plus irrégulière que celle que nous venons de considérer. Nous en obtiendrions la courbe si nous combinions les ordonnées de ce troisième ton avec celles de c, c_2. On voit qu'après chaque période les sommes et les différences se répéteraient toujours. Les nouvelles vibrations

seraient encore régulièrement périodiques et auraient la même durée. La hauteur du ton resterait la même, mais le timbre différerait de nouveau.

Les formes que l'onde sonore peut revêtir de cette façon sont, comme on peut bien le penser, extraordinairement variées. Car, outre les tons déjà examinés, il s'en ajoute encore d'autres : chacun de ces tons harmoniques peut être plus ou moins fort. Enfin parmi ces tons harmoniques, l'un ou l'autre peut manquer, en sorte que différents groupes de tons harmoniques s'associent au ton fondamental. Mais toutes ces variations laissent toujours au ton la même hauteur, tout en produisant des timbres différents que notre oreille distingue parfaitement. On peut ainsi concevoir le ton fondamental combiné à la seconde et à la quatrième harmonique, ou bien à la troisième et la cinquième, etc., et chaque fois le timbre sera différent.

Le timbre différent de nos instruments de musique peut donc s'expliquer suffisamment par la forme différente que les harmoniques associés à la note fondamentale communiquent à la forme primitive de la courbe, de sorte que la courbe est différente pour chaque instrument en particulier. Ces formes de vibrations sont communiquées à notre oreille comme un tout et sont perçues comme timbre. Mais la science est parvenue à décomposer ce tout et à prouver qu'il est formé d'un ton fondamental et de tons harmoniques.

CHAPITRE HUITIÈME

DÉCOMPOSITION DES TIMBRES D'APRÈS LE THÉORÈME DE FOURIER. — THÉORIE DE HELMHOLTZ SUR LA PERCEPTION DES TIMBRES. — FORMATION DES TIMBRES AU MOYEN DE DIAPASONS MUS PAR L'ÉLECTRO-MAGNÉTISME.

Après les considérations que nous avons développées dans le chapitre précédent, une question vient s'imposer à nous, à savoir : si toutes les vibrations sonores périodiques qui produisent sur nous une sensation auditive peuvent être considérées comme composées d'un ton fondamental accompagné d'une série de tons harmoniques de force différente.

Admettons un instant que nous ayons une forme très-compliquée d'onde sonore comme celle que représente la figure 87. Ce dessin pourrait être imaginaire et nous ne pouvons pas indiquer quelle sensation l'onde qu'elle représente, produirait sur notre oreille. La figure ne représente qu'une période de vibration de *O* à *1* : la partie convexe de la courbe est tout à fait symétrique à la partie concave. La courbe monte d'abord rapidement puis descend assez rapidement, après avoir atteint son maximum, puis elle s'incline plus lentement pendant quelque temps; après quoi il se forme une nouvelle chute rapide qui passe par une inclinaison faible à la partie concave présentant les mêmes courbures, mais placées en sens opposé.

Si nous avions affaire à une onde sonore dans l'air, nous

pourrions dire, d'après la forme de la courbe, que la condensation de l'air se fait rapidement jusqu'à ce qu'elle ait atteint son maximum, qu'alors cette condensation diminue rapidement, puis plus lentement, puis encore plus rapidement et enfin très-lentement. La dilatation de l'air se ferait ensuite, d'abord très-lentement, puis rapidement, puis encore lentement et enfin rapidement, pour passer ensuite avec une rapidité très-grande à la période de condensation au point 1. Est-il possible qu'une telle vibration soit composée d'un ton fondamental, dont la vibration a la forme des oscillations du pendule, comme nous l'avons représenté dans la figure 86, et d'une série de tons harmoniques dont les vibrations ont aussi la forme des oscillations du pendule et dont les convexités et les concavités se succèdent d'après une loi précise et s'élèvent avec la même rapidité qu'elles s'abaissent?

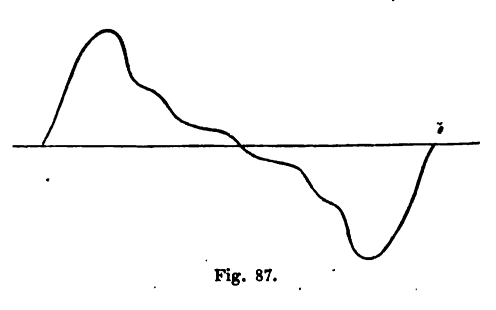


Fig. 87.

Le problème à résoudre est évidemment de nature tout à fait mathématique. Nous avons à rechercher si nous pouvons découper dans la surface bornée par cette courbe de vibration une courbe de pendule ayant la même durée de vibration de *o* en 1 et qui correspondrait au ton fondamental. Il faudrait ensuite essayer si l'espace restant suffirait à former des courbes pendulaires dont les oscillations auraient une durée moitié moindre, ou un nombre d'oscillations double, triple, quadruple, etc., correspondant aux tons harmoniques. Il serait naturellement nécessaire encore de rechercher combien de courbes de ce genre il faudrait pour obtenir la courbe proposée, quel serait leur nombre d'oscillations et quel rapport existe entre eux relativement à leur hauteur de ton et à celui du ton fondamental. Le plus important enfin c'est qu'il ne reste pas, après ces opérations, la moindre parcelle de la surface qui n'ait été employée.

Nous nous trouvons donc devant un problème mathématique très-difficile mais qui heureusement a été résolu scientifiquement longtemps avant qu'on connût les tons harmoniques. Le grand mathématicien français Fourier, né en 1768, a prouvé que *toutes les vibrations, de quelque forme qu'elles soient, pourvu qu'elles se fassent dans la même période, peuvent toujours être décomposées en une somme de vibrations pendulaires.*

La preuve de ce théorème ne peut être donnée que par les hautes mathématiques. Nous nous contenterons donc de l'affirmation que ce théorème est hors de doute et nous nous bornerons à étudier son application à la théorie des timbres que nous devons à Helmholtz.

Le théorème de Fourier s'accorde parfaitement avec l'existence des tons harmoniques ; il démontre, en effet, que si le nombre des vibrations de la vibration primitive est 1, le nombre des premières vibrations pendulaires est aussi un, celui des secondes deux, celui des troisièmes trois, etc. En un mot nous trouvons que la première vibration pendulaire correspond au ton fondamental et que les autres correspondent aux tons harmoniques. Si précédemment nous avons pu faire d'un ton fondamental associé à ses tons harmoniques une vibration sonore compliquée, nous arrivons maintenant, par une voie opposée, au moyen du théorème de Fourier, à décomposer toute vibration sonore périodique, en un ton fondamental accompagné d'une série de tons harmoniques.

N'est-il pas étonnant que la nature soit capable de résoudre pratiquement le problème dont nous venons de parler?

Quand nous faisons naître un ton et que nous appliquons à notre oreille un résonnateur sphérique qui correspond à un de ses tons harmoniques, nous entendons ce ton harmonique très-renforcé. Il se fait ainsi une analyse de nature spéciale, avant que le ton pénètre dans notre oreille, analyse qui consiste en une découpure pour ainsi dire d'une certaine vibration pendulaire, qui est retranchée de la vibration composée primitive et qui est alors amenée isolément à l'oreille. Le ré-

sonnateur constitue donc un appareil de décomposition qui travaille dans le sens du théorème de Fourier.

Mais comment agissent les organes intérieurs de notre oreille lorsqu'un timbre composé vient les atteindre ?

Lorsqu'un violon et une flûte donnent le *la'* de 440 vibrations, il y aura dans les deux cas des appareils spéciaux de notre oreille qui vibreront par influence et qui feront aussi 440 vibrations par seconde. L'appareil mis en mouvement imitera-t-il exactement une fois les vibrations du ton du violon, une autre fois les vibrations du ton de la flûte, tons qui sont nécessairement différents entre eux, et cette imitation nous fera-t-elle connaître les différences de timbre ?

Nous pouvons assurer avec certitude que les choses ne peuvent se passer ainsi.

Supposons que l'appareil vibrant par influence soit en relation avec une fibre nerveuse déterminée qu'il met en état d'irritation. Nous savons par la physiologie qu'un nerf irrité d'une façon quelconque fait toujours naître le même effet. Irritons un nerf musculaire par des excitants chimiques, électriques ou mécaniques, nous ne produirons jamais autre chose qu'une contraction musculaire. La fibre nerveuse de l'organe vibrant de l'oreille est donc irritée dans les deux cas, sans que cet état d'excitation puisse être différent. Par conséquent la sensation du ton ne peut pas non plus différer dans les deux cas. Nous sommes même obligés d'admettre que si l'irritation avait été produite par des moyens chimiques ou électriques, la sensation eût encore été la même. C'est ce que prouvent encore les tons subjectifs isolés que les malades entendent parfois lorsqu'ils sont atteints par des affections de l'oreille interne et sans qu'il y ait des vibrations sonores. Il faut admettre que, dans ces cas, des fibres nerveuses isolées sont excitées par des excitants anormaux.

La vibration par influence d'un seul organe de l'oreille, desservi par une seule ou plusieurs fibres nerveuses, ne peut, en aucun cas, nous faire distinguer le timbre d'un violon de celui d'une flûte. Un ton de 440 vibrations mettra sans doute en vi-

bration le même organe, mais, d'après les lois de l'acoustique, d'autres organes encore devront vibrer par influence, et ce sont justement les organes qui sont accordés pour les tons harmoniques du ton produit.

Qu'un grand nombre de personnes réunies appliquent chacune à leur oreille un résonnateur spécial, la première un résonnateur correspondant au ton fondamental du violon, la seconde un résonnateur correspondant au premier ton harmonique, la troisième un résonateur correspondant au second ton harmonique, etc., autant qu'il existe d'harmoniques dans le ton produit; il arrivera qu'aucune de ces personnes n'entendra le timbre du violon, si du moins l'accès du ton est empêché d'arriver à l'oreille par toute autre voie que par le résonnateur. Toutes ces personnes n'entendront qu'un ton simple à peu près semblable à celui que l'on obtient en soufflant dans le résonnateur, car le ton du violon est décomposé par les résonnateurs, dans ses éléments, et chacun de ces éléments arrive isolément à perception. Supposons que toutes ces sensations isolées se réunissent en une sensation commune et nous obtiendrons une image de ce qui se passe dans l'audition d'un timbre.

Le limaçon de l'oreille est semblable à une série de résonnateurs accordés ; c'est un appareil analytique travaillant rigoureusement d'après le théorème de Fourier et résolvant facilement et pratiquement le problème. L'organe de 440 vibrations s'empare du ton fondamental, l'organe faisant 2 × 440 vibrations s'empare de la première harmonique, l'organe faisant 3 × 440 vibrations s'empare de la seconde harmonique et ainsi de suite. Chacun de ces organes vibre en outre avec une force correspondante à celle des tons harmoniques et il se produit de cette façon une décomposition du timbre en tous ses tons isolés, décomposition que l'on ne pourrait point imaginer plus parfaite.

Mais à cette décomposition succède une combinaison nouvelle exécutée par d'autres organes. Le ton fondamental et tous les tons harmoniques excitent chacun une fibre nerveuse spéciale, et chacune de ces fibres transmet isolément son excitation

au cerveau. C'est dans le cerveau, où se passe tout le phénomène encore si mystérieux pour nous de la sensation, que les sensations isolées se réunissent en une sensation commune produisant la sensation du timbre.

Nous avons exposé dans les lignes précédentes la théorie de Helmholtz qui nous explique le mieux tous les faits. N'oublions cependant pas, que jusqu'ici l'on n'a pas encore pu observer directement les vibrations des appareils du limaçon. C'est la seule supposition nécessaire pour l'admission de la théorie et cette supposition devient si extraordinairement vraisemblable lorsque nous considérons la structure des organes de Corti, que nous pouvons regarder la théorie comme fondée sur des bases solides. Nous ne pouvons cependant pas nous empêcher de relater encore une expérience par laquelle Helmholtz a encore trouvé un important argument pour sa théorie.

Lorsqu'un ton fondamental, mélangé à un ton harmonique convenable, produit un timbre spécial, la combinaison de ces deux tons peut se faire de différentes façons. En considérant les courbes de vibrations de ces deux tons, nous pouvons admettre d'abord que le ton fondamental et le ton harmonique commencent en même temps par une montée. Après une période de vibration du ton fondamental, la même construction se répétera, c'est-à-dire que le commencement de la montée des deux courbes coïncidera de nouveau, puisque le ton harmonique aura toujours fait un nombre entier de vibrations quand le ton fondamental en aura achevé *une*. Mais nous voulons maintenant transférer les *phases* du ton harmonique, c'est-à-dire transposer les montées et les descentes de sa courbe, de façon que, la montée du ton harmonique commence toujours un peu plus tard que celle du ton fondamental. Le timbre restera-t-il le même ou deviendra-t-il différent ?

Pour nous rendre visible cette combinaison, nous nous servirons de la figure 88 donnée par Helmholtz. De la combinaison du ton principal et du premier ton harmonique, il se forme un timbre, comme nous l'avons expliqué à propos

de la figure 86. Reculons maintenant la courbe du ton fondamental de façon que son origine tombe justement sur l'ordonnée a_1. Nous obtenons alors par l'addition des ordonnées une courbe de vibration semblable à celle de la figure 87 sur laquelle les montées sont rapides, tandis que les vallées sont peu inclinées et plus larges. La courbe ponctuée représente le ton fondamental.

Nous avons obtenu deux courbes différentes en combinant ainsi le ton fondamental et le premier ton harmonique : mais nous pourrions en obtenir un très-grand nombre, faisant passage de l'une à l'autre, en reculant toujours un peu plus loin la courbe du ton fondamental. On conçoit facilement que les ondulations de ces courbes changeront de forme, et il nous

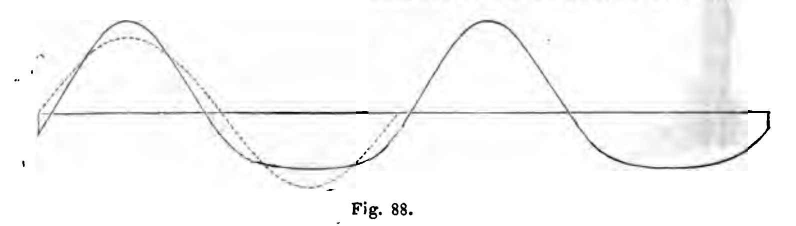


Fig. 88.

reste à rechercher si ces changements de forme correspondent à des changements dans le timbre.

Pour décider expérimentalement cette question, Helmholtz a employé des tons purs produits par des diapasons mis en mouvement par des appareils électro-magnétiques semblables à celui qui est représenté sur la figure 85. Le diapason B est entretenu en vibration continue par un autre diapason qui l'excite. Ce dernier est représenté par la figure 89. Nous voyons sur cette figure un diapason *a*, posé horizontalement et dont les extrémités sont situées entre les pôles d'un électro-aimant en fer à cheval *bb*. L'une ou bien les deux extrémités du diapason sont munies de petits crochets en platine *c* qui plongent dans une petite soucoupe pleine de mercure *d* (fig. 89).

On fait alors passer un courant de *d* en *e* à travers le diapason, puis on le ramène, à travers la spire de l'électro-aimant, dans le circuit. Le circuit est interrompu en *c*, parce que les

plaques de zinc sont attirées par l'électro-aimant, et que le petit crochet de platine est soulevé et sort du mercure. Le diapason fait un mouvement en sens contraire, rétablit le courant, est de nouveau attiré et se met finalement en vibration continue.

Mais le courant du diapason moteur passe encore à travers l'électro-aimant du diapason B qui fournit le ton fondamental et force ce diapason à vibrer en même temps. Le courant passe

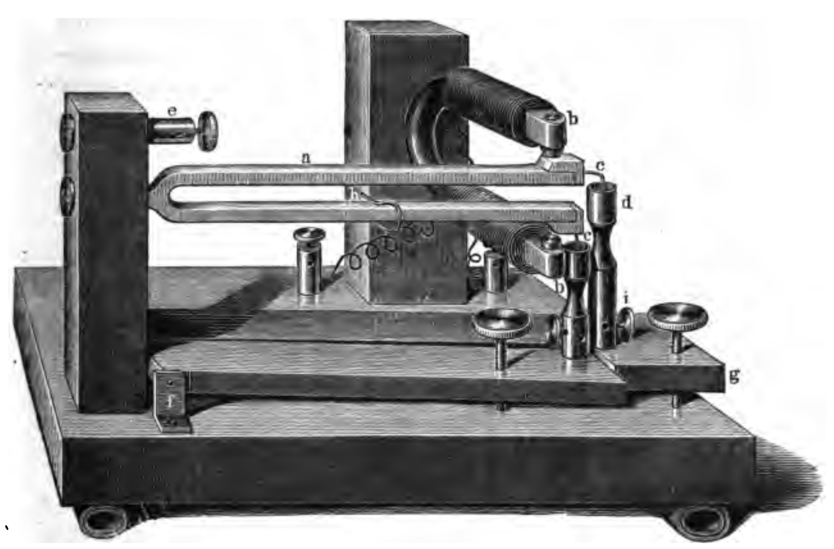


Fig. 89.

aussi à travers l'aimant du diapason *b*, qui est lui-même mis en vibration, parce qu'il reçoit un choc magnétique après deux vibrations. Les deux diapasons *B* et *b* donnent un timbre semblable à *U*, dès que l'on ouvre les clapets de leurs résonnateurs.

Par la disposition que nous venons de décrire, le commencement de la montée du ton fondamental B, et celle du ton harmonique *b* correspondent exactement, car au moment où B reçoit un choc magnétique, *b* en reçoit aussi un dans la même direction. Mais lorsqu'on rétrécit un peu l'ouverture du résonnateur du diapason *b*, le commencement de la phase est

retardé, comme Helmholtz l'a prouvé par le calcul, et il se forme un recul de la courbe du ton harmonique sur celle du ton fondamental. Malgré cela le timbre des deux tons associés reste le même, n'importe de quelle façon les convexités et les concavités des deux courbes soient disposées entre elles par rapport au temps.

Que ressort-il de ce fait important?

Nous pouvons en conclure que notre oreille ne perçoit point la forme différente des ondes sonores comme un tout, mais qu'elle les décompose en leurs éléments. Cette décomposition se fera toujours de la même façon, quelle que soit la manière dont les phases des deux tons soient disposées entre elles. Le résultat consistera donc en une irritation de deux voies nerveuses différentes, qui restent dans tous les cas les mêmes, et qui produisent par conséquent, toujours la même sensation acoustique.

La perception d'un timbre consiste donc en ce que à *l'irritation produite par le ton fondamental sur une fibre nerveuse spéciale* vient s'ajouter une irritation *plus ou moins faible d'autres fibres nerveuses déterminées, dont les extrémités sont excitées par les tons harmoniques.*

CHAPITRE NEUVIÈME

HARMONIE DES TIMBRES. — CONSONNANCE ET DISSONANCE. — PRODUCTION DE BATTEMENTS. — LA DISSONANCE RAMENÉE A L'EXISTENCE DES BATTEMENTS. — INFLUENCE DES HYPERTONS SUR L'HARMONIE. — TONS RÉSULTANTS. — ACCORDS. — BRUITS.

La musique ne fait pas seulement impression sur nous par une succession de tons mélodiques, elle agit encore plus agréablement par la combinaison de plusieurs tons émis en même temps. Nous pouvons juger plus facilement l'impression que cette simultanéité produit sur nous lorsque nous n'écoutons que deux tons combinés. Les combinaisons agréables de tons sont désignées sous le nom de consonnances, les combinaisons désagréables sous celui de dissonances.

Une octave *do* et *do'* nous paraît consonnante ; il en est de même de la quinte *do* et *sol*, et nous regardons encore la tierce *do* et *mi* comme une consonnance. Mais si nous touchons sur le piano deux notes rapprochées comme *do* et *ré* ou deux notes encore plus rapprochées comme *do* et *do dièze*, nous éprouvons une impression désagréable que nous nommons dissonance. Quoiqu'il y ait des dissonances entre deux tons éloignés l'un de l'autre, nous voulons d'abord examiner attentivement les tons qui sont rapprochés.

Lorsque deux tons sont séparés par un intervalle entier ou par un demi-intervalle et qu'ils produisent une dissonance,

il faut supposer que la dissonance deviendrait encore plus forte si l'on rapprochait encore plus les hauteurs des tons. Cette supposition est confirmée par l'expérience. Nous pouvons mêler deux tons de ce genre, en nous servant de deux diapasons peu différents l'un de l'autre, et nous obtiendrons un son qui nous paraîtra discordant au plus haut degré. Mais, outre l'impression esthétique, nous remarquons que le timbre se compose acoustiquement de chocs isolés qui se produisent d'autant plus lentement que les deux tons sont plus rapprochés l'un de l'autre. On nomme ces chocs *battements*.

On peut observer des battements sur tous les instruments, entre deux tons rapprochés, mais principalement sur les instruments qui peuvent facilement modifier la hauteur de leur ton. Lorsque nous faisons, par exemple, résonner deux tuyaux d'orgue ouverts et de grandeur égale, sur la même soufflerie nous pouvons abaisser un peu le ton d'un de ces tuyaux en appliquant la main très-légèrement sur l'ouverture supérieure. Immédiatement les battements se font sentir, lents d'abord, puis de plus en plus rapides si nous appliquons la main plus exactement. Lorsque les battements deviennent plus rapides ils font naître un bruissement semblable à l'*r*. On obtient le même résultat sur un piano, dont on touche en même temps deux notes graves, ayant entre elles un demi-intervalle.

Comment peut-on expliquer ces battements et quel est leur rapport avec la dissonance? Les battements ne constituent point de phénomène subjectif, mais sont de véritables interruptions ou des affaiblissements du ton. Ils sont produits par des *interférences* des ondes sonores.

On appelle interférence la rencontre de la partie convexe d'une onde avec la partie concave d'une autre onde. Lorsque cette rencontre a lieu, les mouvements se détruisent mutuellement, comme si la convexité de l'une des ondes comblait la concavité de l'autre ou comme si la concavité de l'une décapait la convexité de l'autre. On peut observer ces interférences sur un diapason qu'on tient près de l'oreille et qu'on fait tourner lentement sur son axe longitudinal. Si l'on place le diapason verticale-

ment et si l'oreille et les deux branches sont sur la même ligne droite, le son produit a toute son intensité : lorsque nous tournons le diapason à 45 degrés, le ton devient plus faible; il devient, au contraire, de nouveau plus fort lorsque nous continuons à faire tourner l'instrument : de sorte que pour une révolution entière le ton est affaibli dans quatre directions symétriquement situées. Des deux branches du diapason naissent des ondes sonores qui produisent en partie des interférences. Ces deux branches exécutent des mouvements analogues, de sorte que toutes deux se portent ensemble et en même temps vers l'intérieur ou vers l'extérieur. Elles communiquent donc à l'air un mouvement en sens opposé, car lorsqu'elles se portent toutes deux à l'intérieur elles jettent les molécules aériennes intermédiaires à la rencontre les unes des autres, et, lorsque les branches se portent à l'extérieur, les molécules aériennes reçoivent une impulsion en sens contraire.

Il y a donc une position des branches du diapason par rapport à l'oreille, position indiquée plus haut et qui rend sensible l'interférence entre les deux ondes sonores.

Lorsque, au lieu de deux ondes sonores parfaitement égales, nous en examinons deux autres de durée différente mais qui sont très-rapprochées de ton, nous obtenons encore des interférences. Admettons que les deux montées commencent en même temps, la seconde montée du ton, qui fera des vibrations plus lentes, commencera un peu plus tard, la troisième montée se fera deux fois plus tard, la quatrième montée trois fois plus tard, etc. Finalement le ton le plus grave sera en retard de toute une convexité sur la note plus haute et nous avons un moment où la montée de l'une des vibrations correspondra à la descente de l'autre et il se produira une interférence. Mais cet état ne persiste pas, les ondes du ton plus élevé précéderont de plus en plus celles du ton plus grave et bientôt viendra un moment où les montées coïncideront. Alors le ton sera renforcé. Le résultat de tout ceci, c'est un renforcement et un affaiblissement alternatifs du ton.

Plus les tons sont rapprochés, plus les battements sont lents

parce qu'il faut un temps plus long pour que le ton plus élevé ait précédé de toute une convexité le ton le plus grave, et les battements échapperont à notre oreille lorsque la distance entre deux notes aura acquis une grandeur déterminée.

La cause de la dissonance a été ramenée par Helmholtz à l'existence des battements. Les changements rapides dans la force du ton, produits par les battements, font une impression désagréable sur notre oreille, absolument comme une flamme vacillante fait une impression désagréable sur notre œil. Lorsque les deux tons sont très-rapprochés, nous reconnaissons la cause de cette sensation désagréable, parce que nous percevons isolément les battements. Lorsque l'intervalle est d'un demi-ton ou d'un ton entier, nous n'entendons plus les battements isolés, mais leur présence se fait sentir par une sensation continue de dissonance. Le timbre possède, d'après l'expression de Helmholtz, un certain degré de *rudesse* produit par les battements.

Le désagrément que nous cause cette sensation peut être ramené à un fait général de l'activité nerveuse. Toute irritation intermittente d'un nerf sensible fatigue plus qu'une irritation continue. Une flamme vacillante nous est désagréable parce que l'impressionnabilité de la rétine augmente entre deux irritations lumineuses et que cet organe est affecté à un haut degré par chaque irritation. Si la lumière est au contraire continue, la rétine devient moins sensible et est moins irritée à la longue. Lorsque nous sortons de l'obscurité pour entrer dans un endroit éclairé, nous sommes d'abord éblouis parce que l'excitation est très-forte, mais, l'excitation diminuant peu à peu, l'œil finit par s'habituer à la lumière. Le flamboiement n'est, pour ainsi dire, qu'une entrée répétée d'un endroit obscur dans un endroit éclairé et il irrite dès lors très-fortement l'œil.

L'oreille ou plutôt le nerf acoustique semble avoir des dispositions analogues. La dissonance est un timbre continu qui irrite désagréablement le nerf acoustique. L'oreille des personnes qui ont une éducation musicale convenable est plus

désagréablement frappée par les dissonances, comme l'œil des personnes bien élevées et sensibles est plus fatigué par le flamboiement d'une bougie que l'œil des personnes peu civilisées.

On a comparé dans le langage ordinaire les couleurs et les tons et l'on parle quelquefois d'une harmonie des couleurs; en poursuivant cette comparaison on a été amené à comparer le voisinage de deux couleurs non harmoniques à des dissonances. Cette comparaison est très-défectueuse au point de vue physique. Deux couleurs non harmoniques comme le vert et le bleu, nous paraissent désagréables lorsqu'elles sont l'une à côté de l'autre, parce qu'elles ne se font pas ressortir l'une l'autre et qu'au contraire elles s'affaiblissent mutuellement, parce que toutes deux excitent fortement la même espèce de fibres sensibles aux couleurs et qu'elles les fatiguent par conséquent. Le jaune et le bleu nous paraissent au contraire harmoniques, parce que les fibres sensibles au jaune reposent quand on considère le bleu et réciproquement. Le seul point physiologique comparable entre les tons et les couleurs inharmoniques c'est donc la fatigue des nerfs sensibles. Mais cette fatigue est produite de différentes manières; pour le nerf acoustique, par une excitation interrompue; pour le nerf optique, parce que les mêmes fibres sont excitées par des couleurs différentes.

On peut déterminer le nombre des battements par le nombre des vibrations des deux tons. Lorsque le ton le plus élevé fait une vibration de plus par seconde que le ton le plus grave, la partie ascendante de l'une des courbes et la partie descendante de l'autre ne se rencontreront qu'une fois pendant ce temps. Lorsque la différence est de deux vibrations, la rencontre se fera deux fois, etc. *Par conséquent le nombre des battements par seconde est égal à la différence du nombre de vibrations des deux tons.*

La sensation d'une dissonance atteint son maximum lorsqu'il se produit un certain nombre de battements. Les battements lents entre deux tons rapprochés ne nous paraissent

point aussi désagréables, lorsque nous les percevons isolément, que les battements plus rapides de deux tons, séparés entre eux d'une seconde ou d'une demi-seconde. Entre le ton *si'*, de 495 vibrations, et la demi-seconde *do"*, de 528 vibrations, il se forme 528 — 495 = 33 battements : la dissonance produite est très-forte et atteint même le maximum pour cette partie de l'échelle. Mais lorsque nous faisons résonner en même temps les tons graves *si* et *do* de la contre-octave qui exécutent réciproquement 62 et 66 vibrations, nous percevons parfaitement quatre battements par seconde, et la sensation de la dissonance est bien plus faible. Par conséquent, les dissonances sont beaucoup moins manifestes pour les tons graves que pour les tons moyens. Les dissonances diminuent aussi un peu pour le même intervalle, entre les tons élevés, en sorte que le maximum des dissonances se trouve être d'environ 30 battements par seconde.

Jusqu'ici nous nous sommes contentés de ramener à des battements la dissonance de deux tons rapprochés. Une seconde *do, ré* et plus encore une demi-seconde *do dièze* sont des dissonances marquées, mais déjà la petite tierce *do*, *mi dièze* n'est plus désagréable à notre oreille et forme transition aux consonnances.

Mais nous devons faire remarquer que des tons éloignés l'un de l'autre peuvent donner naissance à des dissonances. La septime *do*, *si* est une dissonance très-marquée et presque aussi forte que celle de la demi-seconde *si*, *do'*. Ce ne sont plus les battements qui, dans ce cas, peuvent être la cause de la dissonance, car leur nombre est de 115 par seconde; il faut donc rechercher une autre cause de ce phénomène.

Si nous nous rappelons que chaque ton fondamental d'un timbre est accompagné d'une série de tons harmoniques, nous pouvons facilement comprendre que ces tons harmoniques peuvent aussi faire naître des battements, et que ceux-ci ont une certaine influence sur la résonnance simultanée de deux tons. En effet, pour la septime *do*, *si*, le premier ton harmonique de *do*, c'est-à-dire *do'*, exerce une influence manifeste,

puisque entre *si* et *do'*, la rudesse des battements atteint son maximum. Nous sommes donc obligés de considérer encore, lorsque deux tons sont émis en même temps, de quelle manière les tons harmoniques du ton le plus grave se comportent vis-à-vis du ton le plus aigu, et en outre de quelle manière les tons harmoniques suivants du ton plus grave sont disposés, par rapport aux tons harmoniques du ton plus aigu.

Lorsque les tons harmoniques des deux tons coïncident, nous obtenons une consonnance parfaite. Ce cas se rencontre dans l'octave, comme on peut le voir dans l'exemple suivant.

Ton fondamental.	Tons harmoniques.						
do	do'	sol'	do''	mi''	sol''	si''	do'''
do'			do''		sol''		do'''

L'on voit à gauche des perpendiculaires les deux tons fondamentaux, et à la droite de ces lignes les tons harmoniques les plus rapprochés. L'on voit que chaque ton harmonique de *do'* correspond à un ton harmonique de *do*, et qu'il n'y a par conséquent aucune raison pour qu'il se produise des battements. L'octave est la consonnance la plus parfaite.

La duodécime *do, sol'* est dans le même cas, et produit une consonnance parfaite comme le montre le tableau suivant :

do	do'	sol'	do''	mi''	sol''	si''	do'''	ré'''
sol'					sol''			ré'''

Le premier ton harmonique de *sol'* se rencontre avec le cinquième de *do*, et le second avec le huitième. Plus les sons sont élevés et moins leur écart a d'importance puisqu'ils deviennent plus faibles en raison de leur élévation. Mais lorsque les premiers et deuxièmes tons harmoniques ne coïncident plus, il est très-important de savoir si leur réunion produit

une dissonance ou non : car ils communiquent cette dissonance à tout le timbre.

En passant à l'analyse de la quinte *do, sol*, nous verrons, d'après les principes émis plus haut, que sa consonnance n'est plus aussi parfaite que celle de l'octave. Le tableau suivant nous montre en effet la série de tons harmoniques.

do	do′	sol′	do″	mi″	sol″
sol		sol′	ré″		sol″

Nous remarquons ici que le premier et le troisième ton harmonique de *sol* se rencontrent avec des sons analogues de *do*, mais que le second *ré″* se trouve placé entre *do″* et *mi″* et produit nécessairement une dissonance avec eux. Mais comme il s'agit dans le cas présent du second et du troisième ton harmonique qui sont déjà assez faibles, ce timbre total conserve le caractère d'une consonnance, mais avec une trace de rudesse qui caractérise la quinte.

La quarte *do, fa* nous donne les résultats suivants :

do	do′	sol′	do″	mi″	sol″	
fa	fa′		do″		fa″	la″

Nous voyons qu'ici le premier ton harmonique *fa′* de *fa* ne se rencontre déjà plus avec un ton harmonique de *do*, mais produit nécessairement une dissonance avec *sol′*. Les deux tons harmoniques *do″* se rencontrent, mais les derniers ne coïncident plus. La quarte ne forme donc pas de consonnance aussi bonne que la quinte, mais paraît encore assez agréable à l'oreille.

La grande tierce nous paraît aussi former une consonnance, mais plus faible que celle de la quarte, comme le tableau suivant nous le fait voir :

do	do′	sol′	do″	mi″
mi	mi′	si″		mi″

Le troisième ton harmonique de *mi* est le premier qui tombe exactement sur un ton harmonique, le quatrième, de *do*. Le second *si′* produit une très-forte dissonance avec *do″*. La première harmonique *mi′* ne forme pas une dissonance très-marquée avec *do′* et *sol′*.

La grande sixte *do, la*, présente les mêmes caractères que la grande tierce, comme on peut s'en assurer en construisant un tableau semblable aux précédents. Elle possède à peu près le même degré de consonnance que la grande tierce.

La petite tierce commence à former le passage entre la consonnance et la dissonance, parce que le nombre des battements se fait déjà remarquer entre les tons fondamentaux, par exemple entre *do* et *mi bémol*. Nous pouvons cependant la considérer encore comme une consonnance imparfaite, parce que le degré de rudesse qu'elle produit, n'est point encore désagréable à l'oreille.

La petite sixte peut être considérée, à l'égal de la petite tierce, comme consonnance imparfaite.

Du reste il n'est pas possible de tracer une ligne de démarcation exacte entre les dissonances et les consonnances. Les limites que l'on pourrait poser sont plutôt une affaire de goût musical et ce goût est sujet à varier. Ainsi les Grecs et les Romains ont considéré la tierce comme formant une dissonance et l'ont soigneusement évitée dans le chant, probablement parce que, comme l'indique Helmholtz, leur oreille était plus sensible aux battements que la nôtre, et parce que pour les voix basses d'hommes la tierce se rapproche plus du maximum de la rudesse que pour les tons moyens de nos instruments musicaux. Ce n'est que pendant le moyen-âge, lorsque la musique instrumentale harmonique s'est développée, qu'on a toléré la tierce comme consonnance imparfaite. La septime, par exemple *do*

et *si*, forme, comme nous l'avons déjà dit, une dissonance décidée, parce que le premier ton harmonique de *do* ne diffère que d'un demi-ton de *si*. Le premier ton harmonique a en effet toujours une grande influence sur le timbre total.

Helmholtz a construit une figure qui représente graphiquement le degré de rudesse des intervalles, en admettant pour maximum de cette rudesse le nombre de 33 battements par seconde. La ligne horizontale c′ c″ représente l'échelle musicale comprise entre *do′ do″*; il faut supposer en outre que chaque ton de cette échelle se fait entendre en même temps que le ton fondamental *do′*. La rudesse que ces tons et leurs harmoni-

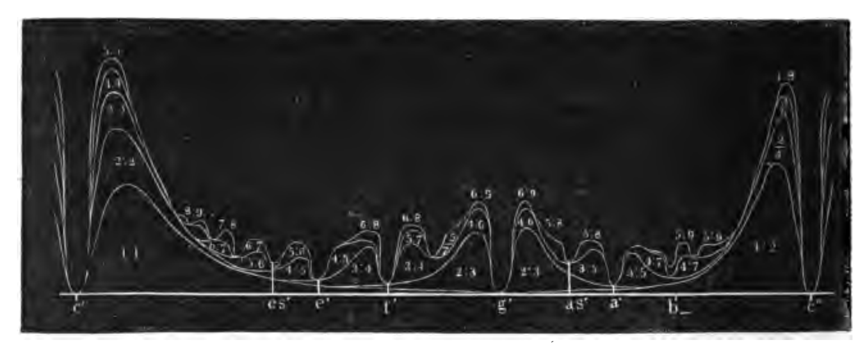


Fig. 90.

ques font naître, est représentée par des éminences dont la hauteur indique le degré de dissonance, tandis que les consonnances sont représentées par des dépressions. Les chiffres de la figure indiquant entre quels tons harmoniques la dissonance se produit, le ton fontamental est désigné par 1 et les tons harmoniques par des chiffres de plus en plus élevés. L'octave *do″* tombe sur la dépression la plus profonde et désigne par conséquent la consonnance la plus parfaite : sa rudesse est nulle. La rudesse est aussi presque nulle, lorsque la quinte *sol′* résonne en même temps que *do′*. La dépression n'est plus si profonde pour la quarte *fa′* : elle s'élève encore pour la tierce *mi* et surtout pour la petite tierce *mi bémol*. Les maxima des dissonances sont voisines de *do′* et de *do″*.

On a encore observé la production de nouveaux tons par l'action simultanée de deux sources sonores : ces nouveaux tons ont été appelés tons de combinaison ou *tons résultants*. Le ton résultant le plus grave est connu depuis longtemps : le nombre de ses vibrations est égal à la différence des vibrations des deux tons primitifs et c'est pour ce motif qu'on l'a nommé *ton différentiel*. Pour la quinte par exemple, le ton différentiel est l'octave immédiatement inférieure, en sorte que si *do'* et *sol'* résonnent en même temps, le *do* plus grave s'y adjoint comme ton différentiel : car les vibrations de *do'* et de *sol'* sont dans le rapport de 2 : 3 et la différence c'est-à-dire $3 - 2 = 1$ désigne le rapport numérique des vibrations de *do*.

Outre le ton différentiel, *Helmholtz* en a reconnu un autre beaucoup plus faible et dont les vibrations sont égales à la somme des vibrations des tons primaires : il l'a nommé *ton additionnel*. On peut facilement percevoir ces tons au moyen des résonnateurs, preuve évidente qu'ils ne sont pas formés dans l'oreille comme on le croyait autrefois, mais qu'ils existent déjà réellement dans l'air. Helmholtz a prouvé, au moyen de l'analyse mathématique, que ces tons se produisent parce que les vibrations des corps sonores et celles de l'air ne suivent qu'approximativement la loi des vibrations pendulaires et que la déviation à cette loi est d'autant plus forte que les amplitudes deviennent plus grandes. C'est pour ce motif que les tons prolongés comme ceux de l'orgue font naître des tons résultants très-forts.

Les tons résultants peuvent aussi donner naissance à des battements, principalement parce que le premier ton harmonique peut contribuer à la formation de tons résultants. Mais ceci n'a lieu que lorsque l'intervalle (ce qui arrive fréquemment) diffère par un minimum du rapport exact de leurs vibrations. Lorsque nous avons affaire à une quinte dont les nombres de vibrations sont dans le rapport de 200 à 300, leurs premiers tons harmoniques feront 400 et 600 vibrations. La quinte elle-même donne un ton différentiel de $300 - 200 = 100$ vibrations : le premier ton harmonique de 400 vibrations donne avec le ton

de 300 un ton différentiel de 400 — 300 = 100 vibrations. Ces deux tons différentiels coïncident et ne produisent par conséquent aucun battement. Mais si la quinte différait un peu, de manière que les chiffres fussent par exemple dans le rapport de 200 à 301, le ton différentiel aurait par conséquent 101 vibrations. L'un des tons harmoniques, celui de 400 vibrations, produirait avec le ton de 301 vibrations un ton différentiel de 99 vibrations et les deux tons différentiels de 101 et de 99 vibrations produiraient nécessairement des battements.

Généralement les battements produits par les tons résultants ont une importance moindre pour la consonnance et la dissonance que ceux des tons harmoniques, parce que les tons résultants ont proportionnellement beaucoup moins d'intensité.

Dans la musique vocale et instrumentale polyphone il ne s'agit point seulement de faire résonner ensemble deux instruments, mais souvent de produire plusieurs tons à la fois, c'est ce que l'on appelle généralement un *accord*. Il est très-important que dans ces cas les différents tons ne produisent point de battements entre eux, et si les tons sont tous isolément d'accord avec un second ton, l'accord de tous les tons ensemble est aussi un accord consonnant. C'est pour ce motif que les trois notes *do*, *mi*, *sol*, forment un accord harmonieux, ainsi que beaucoup d'autres accords que nous avons appris à connaître par la musique.

On distingue depuis longtemps en musique les accords majeurs et les accords mineurs. Pour les premiers les trois notes *do*, *mi*, *sol*, forment l'accord fondamental, pour les accords mineurs ce sont *do*, *mi bémol* et *sol*. Ces deux accords nous paraissent complétement différents quoique leurs intervalles soient les mêmes et qu'ils n'aient fait qu'échanger leur place. Car pour l'accord *do*, *mi*, *sol*, la petite tierce *mi*, *sol*, vient après la grande tierce *do*, *mi*, tandis que pour l'accord *do*, *mi bémol*, *sol*, la grande tierce *mi bémol*, *sol*, vient après une petite tierce *do*, *mi bémol*. La différence de ces accords est difficile à spécifier, mais chaque oreille la sent distinctement et l'on peut dire

à peu près que l'accord majeur présente quelque chose de clair, de précis et de fini et produit sur nous un sentiment de satisfaction, tandis que l'accord mineur présente un caractère indécis et voilé qui le rend propre à exprimer des passions tristes. La cause acoustique de cette différence réside, comme Helmholtz l'a démontré, dans la relation que les tons résultants des accords ont entre eux. Dans l'accord majeur les tons résultants forment une consonnance, dans l'accord mineur au contraire les tons résultants forment une dissonance et donnent à cet accord quelque chose d'étrange et de contradictoire, ce qui paraît produire sur notre oreille une impression particulière d'indécision.

La sensation que nous désignons sous le nom de *bruit* est tout à fait différente de la sensation musicale. Le bruit est produit par des mouvements irréguliers et non périodiques de corps conducteurs du son. Il se forme un bruit caractéristique lorsque nous frottons deux corps l'un contre l'autre, parce que ce frottement produit des chocs à la surface des deux corps et que ces chocs ne sont point périodiques et mettent l'air en un état de vibration irrégulière. Plus les surfaces sont rudes, plus les chocs sont forts; plus les surfaces sont lisses et plus les chocs sont faibles. Les appareils vibrants de notre oreille, tels que la membrane du tympan, les osselets de l'ouïe et le liquide labyrinthique, sont mis en mouvement par ces chocs irréguliers et les transmettent au nerf acoustique. Mais en quel endroit se fait cette transmission?

Il n'est pas probable que le limaçon et ses appareils si nombreux et si délicats accordés pour des tons de hauteurs spéciales, aient la mission de percevoir des mouvements sonores irréguliers. Un corps élastique et accordé ne peut en effet être mis en vibration que par des tons qui se rapprochent de son ton propre. Donc, lors même que l'eau du labyrinthe participerait à des mouvements irréguliers, les organes sensibles du limaçon ne seraient que fort peu troublés dans leur repos. Il existe par contre, dans les sacs vestibulaires, des corps auxquels nous pouvons parfaitement attribuer des mouve-

ments irréguliers : ce sont les otolithes qui sont situés près des parois membraneuses du vestibule. Ces petits cristaux, extraordinairement mobiles, ne peuvent jouer le rôle de corps élastiques, ni par conséquent vibrer par eux-mêmes ; ils obéiront par conséquent à tous les mouvements irréguliers du liquide vestibulaire. Les nerfs, situés dans les parois membraneuses, sont irrités par les otolithes et deviennent ainsi très-probablement les intermédiaires qui nous font percevoir les bruits.

Quoique nous puissions admettre avec beaucoup de probabilité que les tons et les bruits sont transmis par des fibres nerveuses spéciales, la cause de ces propriétés si différentes des nerfs reste encore un mystère pour nous. Nous sommes obligés de recourir à des comparaisons avec des propriétés analogues d'autres nerfs sensitifs et nous rappeler par exemple que le nerf optique ne produit jamais autre chose que des sensations lumineuses, que le nerf acoustique ne produit que des sensations de sons. Nous pouvons donc admettre, par analogie, des qualités différentes dans le domaine d'un seul appareil sensitif.

Remarquons encore finalement que, d'après notre expérience journalière, nous pouvons distinguer divers bruits les uns des autres. Nous les distinguons en bruits de frottement, de claquement, de sifflement, etc. Ces modifications dans les bruits dépendent en partie de la force des chocs isolés, de la rapidité avec laquelle ils se succèdent et, en partie aussi, de ce qu'il s'y mêle des tons véritables mais de hauteurs différentes. Le bruit de frottement est fréquemment mélangé avec des tons graves ; le bruit de sifflement est souvent accompagné de tons très-aigus qui lui donnent son caractère propre. C'est ce mélange, avec des tons particuliers, qui nous permet souvent de reconnaître la cause des bruits.

LIVRE IV

L'ODORAT ET LE GOUT

CHAPITRE PREMIER

LE SENS DE L'ODORAT.

La sensation de l'odorat est produite par certains corps de forme gazeuse qui sont attirés dans la cavité nasale avec l'air. Dans cette cavité les substances odorantes se mettent en contact direct avec l'organe des sens, comme cela se fait du reste aussi pour le goût. Ces substances exercent une excitation directe sur l'organe des sens et le résultat de cette excitation se traduit par une sensation tout à fait spéciale. Il serait impossible de comparer l'olfaction avec les autres impressions sensuelles et de dire, par exemple, qu'elle est une espèce de toucher ou de goût : elle est aussi différente des autres sensations que la vue et l'audition le sont entre elles : c'est une sensation de nature tout à fait spéciale.

C'est pour ce motif que l'odorat est desservi par un nerf particulier, le *nerf olfactif*, qui se distingue des autres nerfs par son origine, sa situation et sa distribution. Il tire son origine des hémisphères cérébraux par un renflement, le *lobe olfactif*, qui est très-développé chez les animaux inférieurs. Ses fibres se séparent à la base du crâne et pénètrent, par un grand

nombre de petits trous, à travers la lame criblée de l'ethmoïde, os qui est situé comme un coin entre les cavités oculaires, et pénètrent ensuite dans la partie supérieure de la cavité nasale. La cavité nasale elle-même est formée par trois conduits, en forme de cornets, qui sont revêtus par une membrane muqueuse.

Le conduit inférieur et en partie le supérieur servent principalement à l'inspiration et à l'expiration de l'air, et cette partie du nez a reçu, pour ce motif, le nom de *région respiratoire*. Elle est recouverte, comme les autres conduits aériens et du poumon, par des cellules cylindriques (cellules épithéliales) serrées les unes contre les autres et présentant à leur extrémité libre des cils très-fins destinés par leurs mouvements vibratiles à rejeter au dehors les mucosités et la poussière.

Le conduit supérieur et en partie le conduit moyen portent l'organe destiné aux impressions odorantes et ont reçu le nom de *région olfactive*. Cette région se distingue de la région respiratoire par sa couleur jaunâtre, qui est produite par du pigment : elle n'est point couverte de cellules à cils vibratiles, mais porte à sa surface des organes différemment constitués.

Ce n'est que dans ces derniers temps que Max Schultze a pu, par des recherches attentives, trouver le mode de terminaison du nerf olfactif dans la muqueuse nasale. On pouvait présumer, par analogie avec ce que l'on rencontre dans les autres organes des sens, que les dernières fibrilles nerveuses sont munies d'organes terminaux particuliers destinés à recevoir des impressions sensuelles.

La muqueuse olfactive est aussi recouverte de cellules épithéliales cylindriques : elles sont représentées en *e* sur la figure 91. Leur extrémité élargie est dirigée vers la surface tandis que leur extrémité inférieure offre des prolongements très-étroits qui s'unissent au tissu sous-jacent. On rencontre, entre ces cellules, des bâtonnets allongés *s*, qui présentent à leur partie inférieure un renflement analogue à un noyau de cellule et se prolongent ensuite en un long filament inférieur. Ce filament présente tous les caractères des fibres nerveuses les plus fines et se perd dans la région où se distribuent les

fibres nerveuses du nerf olfactif : il est donc très-probable que ces filaments sont reliés au nerf olfactif. Les organes dont nous venons de parler ont été nommés par Max Schultze *cellules olfactives*. On a observé de petits cils, situés sur l'extrémité des bâtonnets, chez certaines espèces animales dont on peut obtenir des préparations fraîches.

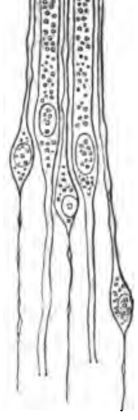


Fig. 91.

Les substances odorantes qui parviennent, avec l'air inspiré, sur la muqueuse olfactive, agissent évidemment sur les organes terminaux du nerf olfactif, ou cellules olfactives. Elles n'agissent pas directement sur les nerfs qui probablement ne peuvent pas du tout être irrités par la plupart des substances odorantes, lorsque celles-ci sont mélangées à des corps aériformes. Nous faisons remarquer que le nerf optique ne peut point être irrité directement par la lumière, ni le nerf auditif par les ondes sonores, et nous pourrons ainsi justifier facilement cette conclusion.

Nous soupçonnons donc que le nerf olfactif ne percevrait pas la moindre odeur agréable s'il était possible de plonger ses rameaux dans une atmosphère d'eau de Cologne, à l'endroit, par exemple, où ils traversent la lame criblée de l'ethmoïde, et qu'il percevrait tout aussi peu une mauvaise odeur si on le plongeait dans une atmosphère de sulfure de carbone. L'effet des corps odorants consiste plutôt en une modification qu'ils produisent sur les organes terminaux et c'est par ces organes que les fibres nerveuses qui y aboutissent sont mises en excitation. Ces appareils terminaux, et non les nerfs, possèdent la propriété d'éprouver une impression par les corps odorants, et les fibres nerveuses ne sont autre chose que des agents transportant des dépêches qui annoncent au cerveau l'irritation produite.

Les substances que nous percevons par l'odorat doivent être transportées sous forme gazeuse avec l'air inspiré par le nez et, comme tous les gaz et toutes les vapeurs sont plus ou moins solubles dans l'eau, ils pénètreront en petite quantité dans les

expérience sans danger en se couchant horizontalement et en laissant pendre la tête verticalement en bas, de façon que l'ouverture des narines se dirige en haut. Le voile du palais sépare alors complétement les fosses nasales de la cavité buccale et l'eau introduite dans le nez ne trouve point d'issue pour s'écouler. Tant que l'eau séjourna dans la cavité nasale Weber ne perçut aucune odeur, tandis qu'il la percevait parfaitement au moment de l'introduction de l'eau. Il remarqua en outre que l'odorat était aboli pendant quelques minutes après la sortie de l'eau, ce qui du reste se produisait aussi lorsqu'on se servait d'eau pure. Il semble donc que l'eau n'est pas un intermédiaire convenable pour l'odorat de l'homme.

Nous avons pu partager les sensations éprouvées par le moyen des organes des sens, en plusieurs catégories déterminées. Mais les sensations olfactives sont si diverses qu'il n'est point possible de les coordonner. Nous pouvons, d'une manière générale, diviser les odeurs en odeurs qui nous sont agréables que nous nommons *parfums* et en odeur désagréables ou *mauvaises odeurs*. Divers éthers et quelques huiles essentielles contenues dans les plantes donnent des odeurs parfumées et c'est pour ce motif qu'on les emploie dans la fabrication d'essences parfumées, comme par exemple pour celle de l'eau de Cologne. Mais ces substances parfumées nous présentent des odeurs si diverses que nous ne pouvons pas les définir exactement. Elles présentent souvent, surtout lorsqu'elles sont concentrées, quelque chose d'âpre et de stupéfiant.

Les mauvaises odeurs forment un contraste évident avec les premières. On rencontre parmi ces odeurs quelques gaz de composition simple et quelques vapeurs. L'hydrogène sulfuré, l'hydrogène phosphoré, l'hydrogène arsénié, le sulfure de carbone et une certaine quantité d'hydrogènes carbonés sont les représentants de cet ordre d'odeurs. Une grande quantité de composés organiques compliqués possèdent aussi des odeurs évidemment désagréables, et surtout certaines substances développées pendant la putréfaction de débris de nature animale.

On a fait la remarque singulière que presque toutes les subs-

tances à odeur désagréable sont en même temps nuisibles à notre organisme. Les gaz à odeur désagréable, comme l'hydrogène sulfuré, constituent même des agents toxiques violents qui amènent la mort lorsqu'ils sont respirés en certaine proportion. Les aliments en putréfaction que notre goût repousse aussi bien que l'odorat, peuvent occasionner des maladies graves lorsqu'on les consomme. L'odorat est donc un gardien vigilant qui empêche l'introduction de substances nuisibles dans notre organisme. Cependant toutes les substances nuisibles ne sont pas trahies par leur odeur : il en est ainsi de l'oxyde de carbone qui est inodore, quoique délétère, et qui a déjà fait tant de victimes, grâce à l'imprudence humaine.

Beaucoup de substances nuisibles ont une odeur qui n'est pas à vrai dire mauvaise, mais qui est cependant désagréable lorsqu'elle est condensée : tels sont par exemple le chlore, le brôme, l'iode et l'ammoniaque. Ces corps ne produisent point seulement une sensation olfactive mais encore une excitation générale de la muqueuse nasale qui est richement desservie par des filaments nerveux sensibles du nerf trijumeau. Lorsque nous aspirons, par exemple, du gaz ammoniac, la sensation piquante et cuisante que nous éprouvons dans le nez ne provient pas de l'irritation du nerf olfactif, mais de celle du trijumeau, quoique le nerf olfactif soit aussi fortement excité.

On a fait la remarque que les gaz odorants ont une grande tendance à former des combinaisons chimiques, et produisent rapidement des altérations dans les tissus organiques. A cette catégorie appartiennent l'hydrogène sulfuré, qui décompose le sang et le colore en noir, puis le chlore, le brôme et l'iode qui, ainsi que l'ammoniaque, décomposent rapidement les substances organiques. C'est encore dans cette catégorie qu'il faut ranger les vapeurs d'alcool, d'éther, de chloroforme, qui toutes altèrent rapidement les tissus animaux.

Les gaz inodores sont au contraire sans action sur les tissus animaux ou n'en produisent qu'une très-lente. Il faut ranger dans ce groupe l'azote, qui est complétement indifférent, puis l'hydrogène, enfin l'acide carbonique qui ne peut pas pro-

voquer de décomposition. L'oxyde de carbone même qui est délétère, quoique inodore, ne détruit point les principes essentiels du sang, puisqu'on peut l'en chasser de nouveau sans que ce liquide ait perdu ses propriétés essentielles. L'oxygène lui-même n'agit point rapidement sur les tissus animaux et se comporte comme un corps indifférent, abstraction faite de l'oxydation lente qu'il provoque. Ce n'est que dans son état actif, c'est-à-dire à l'état d'*ozone*, que l'oxygène possède une affinité plus considérable à la température ordinaire, et il est très-remarquable que dans cet état il possède une odeur caractéristique.

Outre les substances à odeur agréable et à odeur désagréable, il en existe une grande quantité d'autres dont les odeurs ne peuvent être classées. On pourra plus tard les classer chimiquement lorsqu'on en connaîtra exactement la composition. Mais les sensations qu'elles produisent sur l'odorat sont toutes spécifiquement différentes et caractéristiques pour chaque substance particulière. Nous reconnaissons parfaitement à l'odeur un grand nombre d'aliments que nous consommons et cette odeur nous paraît agréable lorsque nous sommes à jeun, mais peut aussi nous paraître répugnante et même nauséeuse lorsque nous sommes rassasiés.

La science ne possède point jusqu'ici de données pour expliquer la manière dont se forment les différentes sensations d'odeurs et quelle différence il y a entre une sensation agréable et une sensation désagréable On peut s'imaginer, par analogie à ce qui se passe pour les diverses sensations visuelles, que le nerf olfactif est muni d'organes terminaux divers qui transmettent aux fibres nerveuses, avec lesquelles ils sont en relation, des impressions olfactives différentes. Mais combien d'espèces de fibres nerveuses devons-nous admettre puisque nous ne pouvons pas encore classer nos sensations en catégories distinctes et que ces sensations nous paraissent être en nombre infini ? Nous abandonnons la réponse à cette question aux recherches futures de la science, qui se trouve ici sur un terrain encore très-obscur.

CHAPITRE DEUXIÈME

LE SENS DU GOUT.

Quoique le goût soit un sens très-nécessaire au bien-être matériel de l'homme, la science n'est cependant pas encore parvenue à découvrir beaucoup de faits certains sur ce sens. Son extension même dans la cavité buccale n'est point encore fixée d'une manière certaine. La langue est, sans aucun doute, le support le plus important des organes du goût et l'on sait aussi que la partie postérieure de sa base est la partie où la sensation se produit avec le plus d'intensité. Chacun a pu constater en outre que la pointe de la langue est capable de goûter isolément. Mais les assertions des observateurs sont très-variables lorsqu'il s'agit d'autres portions de la langue. La plupart des observateurs admettent que le dos de la langue n'éprouve point ou presque point de sensation gustative, tandis que cette sensation réapparaît sur les bords de l'organe. Les observations que l'on fait à ce sujet, sont difficiles et incertaines, parce que les substances que l'on met en contact avec la langue, ne restent pas fixées à la place où on les a appliquées et qu'elles s'étendent au contraire très-facilement; et comme du reste il en faut seulement des traces pour les rendre perceptibles, les observations sont souvent entachées d'illusions.

Les assertions émises sur la sensibilité gustative du palais sont encore plus incertaines, quoique l'on désigne vulgairement cet organe comme un fin gourmet. Beaucoup d'observa-

teurs attribuent aux parties molles du palais et même à la luette des sensations gustatives : d'autres observateurs ont cependant fait remarquer que cette sensation fait absolument défaut lorsqu'on applique à ces organes les substances, au moyen d'un pinceau fin, et que l'on évite ainsi tout contact avec la base de la langue. Il est possible qu'il existe des différences individuelles et que chez certaines personnes la sensibilité s'étende plus ou moins loin que chez d'autres. L'ancien adage « *de gustibus non est disputandum,* » paraît être très-applicable dans ce cas.

Les recherches anatomiques et physiologiques sur l'organe du goût nous ont cependant fourni quelques faits plus certains. Toute la surface supérieure de la langue est recouverte de petites *papilles gustatives*, visibles à l'œil nu. Les unes portent à leur extrémité un faisceau de filaments, les autres sont larges et couvertes de petites tubérosités sur leur surface. Mais à la base de la langue on rencontre une série de papilles disposées en demi-cercle et qui sont entourées par un rebord saillant et annulaire. On a trouvé sur ces papilles de petites dépressions auxquelles on a donné le nom de *dépressions gustatives*. Ces dépressions se rencontrent surtout dans la gouttière formée par le rebord des papilles et sont remplies de cellules allongées en relation par leurs prolongements avec des fibres nerveuses très-fines. On a rencontré des organes analogues sur les autres papilles de la muqueuse linguale et il est très-probable qu'il faut les considérer comme les véritables organes du goût.

Y a-t-il un nerf spécial du goût ? On ne peut pas répondre à cette question aussi facilement que pour les autres sens. Le nerf *glosso-pharyngien* peut être sans aucun doute considéré comme le nerf le plus important du goût, mais les fibres de la sensation gustative y sont mélangées à une grande quantité de fibres motrices destinées au pharynx, tandis que les nerfs optiques, acoustiques et olfactifs sont libres de tout mélange. On a coupé ces nerfs des deux côtés de la tête sur des animaux et l'on a remarqué que les opérés avalaient des aliments mélangés de substances très-amères auxquelles ces animaux ne touchaient pas précédemment.

Outre le nerf que nous venons de citer on rencontre encore dans la langue un nerf de la sensibilité générale, le *nerf lingual*, qui communique à la langue la sensibilité tactile. On ne sait point encore si ce nerf contient en même temps des fibres de sensibilité générale et des fibres gustatives. En tout cas il peut être irrité par des substances sapides lorsque celles-ci présentent de l'acreté ou de la causticité, comme les acides, les alcalis ou les épices âcres, etc.

Parmi les différences que nous ressentons au moyen du sens du goût, le *doux* et l'*amer* nous paraissent être des sensations pures et sans mélange d'irritation d'autres nerfs sensitifs. Quelque concentrées que soient ces sensations, elles ne produiront jamais de douleur, tandis que la saveur acide, poussée à un certain degré, produit une sensation d'astriction ou de brûlure douloureuse. Le doux et l'amer sont des sensations opposées, car la saveur douce nous paraît agréable, tandis que la saveur amère nous paraît désagréable. La saveur douce du sucre mélangé au lait constitue, outre la faim, un attrait séducteur pour le nourrisson.

Nous admettons, jusqu'à un certain point, les saveurs acide et amère dans notre alimentation ; mais le nourrisson, dont le sens du goût est beaucoup plus délicat que le nôtre, repousse toujours des saveurs qui lui paraissent décidément désagréables.

La saveur douce forme encore contraste avec les saveurs acide et amère, en ce sens, que nous pouvons modifier et mitiger ces dernières saveurs en ajoutant du sucre aux aliments qui les présentent. Comme nous corrigeons ainsi la saveur, quoique le sucre ne produise pas d'altération chimique dans les aliments, nous sommes obligés d'admettre une sorte d'interférence du goût, que nous ne pouvons cependant point en-encore expliquer. La saveur douce peut en outre se combiner aux saveurs acide ou amère et produire une espèce d'accord agréable de saveurs. Quant à la saveur salée, presque tout le monde sait qu'elle ne peut être tempérée par l'addition de sucre et que la saveur salée ne peut se combiner à la saveur douce pour produire un accord agréable.

Le contraste entre la saveur douce et les autres saveurs se

fait encore remarquer dans les phénomènes suivants. Lorsque nous avons goûté une substance amère ou salée, l'eau que nous goûtons immédiatement après, nous paraît douce : et, lorsque nous avons consommé une grande quantité de matière sucrée, nous éprouvons une certaine acidité dans la bouche. Ces faits nous rappellent presque involontairement les couleurs contrastantes, mais nous manquons de toute base exacte pour pouvoir poursuivre cette comparaison.

Sur quoi reposent donc les différences entre les diverses sensations gustatives que nous éprouvons ? Cette question exigerait une solution et malheureusement nous ne pouvons encore rien affirmer de positif à cet égard. Il est très-possible qu'il existe des filaments nerveux terminés par des organes différents, dont les uns perçoivent la saveur douce, les autres la saveur salée ou la saveur amère : mais la science n'est point encore parvenue à appuyer cette conception sur des expériences ou sur des observations.

Il est encore plus difficile de déterminer pourquoi certaines substances nous paraissent douces et d'autres amères. La composition chimique des corps ne nous fournit point d'explication à cet égard, car certains corps de composition très-diverse possèdent une saveur identique.

L'acétate de plomb (sucre de saturne) nous présente une saveur sucrée comme le sucre, qui est composé de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Beaucoup de substances, comme la quinine, le sulfate de magnésie, etc., nous paraissent amères quoique leur composition soit très-diverse et ne présente aucune analogie au point de vue chimique.

Les acides et les alcalis présentent cependant une certaine corrélation entre la saveur et les propriétés chimiques. On a désigné chimiquement par le nom d'*acides* une série de combinaisons qui se distinguent par leur saveur aigre. Ces corps possèdent en même temps la propriété d'altérer la couleur de certaines substances, de convertir par exemple la couleur bleue du tournesol en couleur rouge. Les *bases* forment contraste avec les acides, et les bases solubles ou *alcalis* possèdent une

saveur propre, sont caustiques comme les acides et ramènent au bleu la couleur du tournesol rougie. Les propriétés caractéristiques de ces deux sortes de corps s'annihilent mutuellement lorsque les acides se combinent aux bases pour former des sels, et ils perdent leur saveur propre pour prendre par exemple une saveur salée (chlorure de sodium), ou une saveur amère (sulfate de magnésie), ou même une saveur douce (acétate de plomb).

Les saveurs acide, alcaline ou salée caractérisent d'une manière générale trois séries de combinaisons qui sont aussi distinctes entre elles par des caractères chimiques spéciaux, de sorte que l'on peut, jusqu'à un certain point, supposer une corrélation entre leur saveur et leur composition chimique. Il faut toutefois ajouter que les propriétés chimiques de ces corps sont aussi peu limitées par des caractères tranchés que leurs propriétés sapides.

Il est très-remarquable que l'on puisse faire naître artificiellement une sensation de saveur par un courant électrique. Lorsqu'on fait passer un courant à travers la langue en appliquantle pôle positif à la pointe de cet organe et le pôle négatif à la nuque, de façon que le courant aille de la pointe à la base de la langue, on éprouve un goût acide manifeste à la pointe de cet organe : mais si l'on met le pôle négatif en contact avec la pointe de la langue, on éprouve une saveur de lessive, alcaline par conséquent. Mais on sait que le courant électrique décompose les sels, que l'acide se dépose au pôle positif et la base au pôle négatif, et comme la salive contient des sels on pourrait croire que nous percevons la saveur de l'acide ou de la base déposés sur le pôle qui est en contact avec la langue. Il n'en est rien, car nous ressentons la même saveur lorsque le pôle n'est point mis en contact direct avec la langue, et que nous avons interposé un liquide ou les lèvres entre le pôle et l'organe. Il serait possible toutefois qu'il se formât des décompositions qui produiraient une perception sapide, mais nous connaissons encore si peu de chose de ces phénomènes que nous ne pouvons en déduire aucune explication.

Les courants les plus faibles sont capables de produire des sensations de goût, et la façon la plus facile de les faire naître,

consiste à placer sur la langue une plaque de zinc et une plaque de cuivre décapées, dont l'une toucherait par un de ses bords la pointe de la langue, et l'autre la base de cet organe. Lorsqu'on met alors en contact les bords supérieurs des deux plaques, on perçoit une saveur manifeste, acide, lorsque le zinc est situé en bas, alcalin lorsque le cuivre est à la pointe de la langue. La langue humide forme alors avec les deux métaux un élément galvanique faible.

La sensibilité de l'organe du goût est assez considérable pour certaines substances; cependant elle n'atteint pas la délicatesse de l'organe olfactif. Nous pouvons encore percevoir par la saveur un mélange de 0,1 0/0 d'acide sulfurique dans de l'eau. Une goutte de cette solution contient à peu près 1/2000 de gramme d'acide sulfurique, quantité très-modique, que nous percevons par le goût, et qui présenterait certainement quelques difficultés à l'analyse chimique.

On distingue encore, dans la vie commune, plusieurs variétés de saveurs, la saveur putride, rance, huileuse, aromatique, etc. Mais pour juger ces dénominations, il faut se rappeler, qu'aux sensations gustatives pures viennent se joindre souvent, d'abord des sensations olfactives, et en second lieu des sensations tactiles de la langue et du palais. Les premières se produisent parce que nos aliments donnent des vapeurs pénétrant par le pharynx dans les cavités nasales; les autres sont produites par la forme et l'état de cohésion de nos aliments. La saveur du vin, ou plutôt son *bouquet*, est surtout produit par l'odeur de quelques espèces d'éthers. La pomme de terre n'a certainement pas de saveur spéciale, et cependant nous croyons qu'elle a des saveurs différentes selon la façon dont elle est préparée. Il est évident que dans ces cas l'odeur, la saveur et la sensation tactile se combinent entre elles en une seule sensation commune.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

LIVRE III.

LE SENS DE L'OUÏE.

LIVRE IV.

ODORAT ET GOUT.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE
17, rue de l'École-de-Médecine, Paris.

BIBLIOTHÈQUE
SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

Le premier besoin de la science contemporaine — on pourrait même dire d'une manière plus générale des sociétés modernes — c'est l'échange rapide des idées entre les savants, les penseurs, les classes éclairées de tous les pays. Mais ce besoin n'obtient encore aujourd'hui qu'une satisfaction fort imparfaite. Chaque peuple a sa langue particulière, ses livres, ses revues, ses manières spéciales de raisonner et d'écrire, ses sujets de prédilection. Il lit fort peu ce qui se publie au delà de ses frontières, et la grande masse des classes éclairées — surtout en France — manque de la première condition nécessaire pour cela, la connaissance des langues étrangères. On traduit bien un certain nombre de livres anglais ou allemands; mais il faut presque toujours que l'auteur ait à l'étranger des amis soucieux de répandre ses travaux, ou que l'ouvrage présente un caractère pratique qui en fait une bonne entreprise de librairie. Les plus remarquables sont loin d'être toujours dans ce cas, et il en résulte que les idées neuves restent longtemps confinées, au grand détriment des progrès de l'esprit humain, dans le pays qui les a vues naître. Le libre échange industriel règne aujourd'hui presque partout; le libre échange intellectuel n'a pas encore la même fortune, et cependant il ne peut rencontrer aucun adversaire ni inquiéter aucun préjugé.

Ces considérations avaient frappé depuis longtemps un certain nombre de savants anglais. Au congrès de l'association britannique à Édimbourg, ils tracèrent le plan d'une BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE, paraissant à la fois en anglais, en français, en

allemand, en russe et en italien, publiée en Angleterre, en France, aux États-Unis, en Allemagne, en Russie, en Italie, et réunissant des ouvrages écrits par les savants les plus distingués de tous les pays. En venant en France pour chercher les moyens de réaliser cette idée, ils devraient naturellement s'adresser à la revue scientifique, qui marchait dans la même voie, et qui projetait au même moment, après les désastres de la guerre, une entreprise semblable destinée à étendre en quelque sorte son cadre et à en faire connaître plus rapidement en France les livres et les idées des peuples voisins.

Les deux projets se sont réunis, et il s'est formé alors dans chaque pays un comité de savants qui choisira les ouvrages admis dans la Bibliothèque et assurera ainsi leur haute valeur scientifique. Le comité français comprend plusieurs membres de l'Institut et le directeur de la *Revue scientifique*.

La BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE n'est donc pas une entreprise de librairie ordinaire. C'est une œuvre dirigée par les auteurs mêmes, en vue des intérêts de la science, pour la populariser sous toutes ses formes, et faire connaître immédiatement dans le monde entier les idées originales, les directions nouvelles, les découvertes importantes, qui se font jour dans tous les pays. Chaque savant exposera les idées qu'il a introduites dans la science et condensera pour ainsi dire ses doctrines les plus originales.

On pourra ainsi, sans quitter la France, assister et participer au mouvement des esprits en Angleterre, en Allemagne, en Amérique, en Italie, tout aussi bien que les savants mêmes de chacun de ces pays.

La BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE ne comprendra point seulement des ouvrages consacrés aux sciences physiques et naturelles; elle abordera aussi les sciences morales comme la philosophie, l'histoire, la politique et l'économie sociale, la haute législation, etc.; mais les livres traitant des sujets de ce genre se rattacheront encore aux sciences naturelles, en leur empruntant les méthodes d'observation et d'expérience qui les ont rendues si fécondes depuis deux siècles.

OUVRAGES PARUS

Tous les volumes sont vendus reliés avec luxe en toile anglaise.

(Format in-8°.)

J. TYNDALL. **Les glaciers et les transformations de l'eau**; suivis d'une Conférence de M. HELMHOLTZ sur le même sujet, et de la réponse de M. Tyndall. Avec nombreuses figures dans le texte et 8 planches tirées à part sur papier teinté...................... 6 fr.

W. BAGEHOT. **Lois scientifiques du développement des nations** dans ses rapports avec les principes de la sélection naturelle et de l'hérédité. 2e édition .... 6 fr.

J. MAREY. **La machine animale**, locomotion terrestre et aérienne, avec 117 figures.. 6 fr.

A. BAIN. **L'Esprit et le corps**, considérés au point de vue de leurs relations, suivis d'études sur les *Erreurs généralement répandues au sujet de l'esprit*. Avec figures....................... ..... 6 fr.

J. A. PETTIGREW. **La locomotion chez les animaux.** Avec 130 figures dans le texte... 6 fr.

HERBERT SPENCER. **Introduction à la science sociale.** 2e édition.. 6 fr.

OSCARD SCHMIDT. **Descendance et darwinisme.** Avec fig.. 6 fr.

H. MAUDSLEY. **Le crime et la folie**........................ 6 fr.

P. J. VAN BENEDEN. **Les commensaux et les parasites** dans le règne animal. Avec 83 figures dans le texte.................. 6 fr.

BALFOUR STEWART. **La conservation de l'énergie**, suivie d'une étude sur **La nature de la force**, par *M. P. de Saint-Robert*. Avec figures.. 6 fr.

DRAPER. **Les conflits de la science et de la religion**....... 6 fr.

SCHUTZENBERGER. **Les fermentations.** Avec 28 figures dans le texte.. 6 fr.

LÉON DUMONT. **Théorie scientifique de la sensibilité.** Plaisir et peine... 6 fr.

COOKE ET BERKELEY. **Les champignons.** Avec 110 figures dans le texte.. 6 fr.

WHITNEY. **La vie du langage**............................ 6 fr.

BERNSTEIN. **Les sens.** Avec 91 figures dans le texte......... 6 fr.

BERTHELOT. **La synthèse chimique.** Avec figures.......... 6 fr.

VOGEL. **La photographie et la chimie de la lumière.** Avec 100 figures.. 6 fr.

OUVRAGES SUR LE POINT DE PARAITRE

LUYS. **Le cerveau et ses fonctions.** Avec figures.

CLAUDE BERNARD. **Histoire des théories de la vie.**

STANLEY JEVONS. **La monnaie et le mécanisme de l'échange.**

EMILE ALGLAVE. **Les principes des constitutions politiques.**

FRIEDEL. **Les fonctions en chimie organique.**

DE QUATREFAGES. **L'espèce humaine.**

OUVRAGES EN PRÉPARATION

Auteurs français.

CLAUDE BERNARD. Phénomènes physiques et phénomènes métaphysiques de la vie.

HENRI SAINTE-CLAIRE DEVILLE. Introduction à la chimie générale.

A. WURTZ. Atome et atomicité.

C. VOGT. Physiologie du parasitisme. — Les animaux fossiles.

H. DE LACAZE-DUTHIERS. La zoologie depuis Cuvier.

TAINE. Les émotions et la volonté.

GÉNÉRAL FAIDHERBE. Le Sénégal.

ALFRED GRANDIDIER. Madagascar.

A. Giard. L'embryogénie générale.
Debray. Les métaux précieux.
P. Bert. Les êtres vivants et les milieux cosmiques.
Lorain. Les épidémies modernes.

Auteurs anglais.

Huxley. Mouvement et conscience.
W. B. Carpenter. Géographie physique des mers.
Ramsay. Structure de la terre.
Sir J. Lubbock. Premiers âges de l'humanité.
Charlton Bastian. Le cerveau comme organe de la pensée.
Normann Lockyer. L'analyse spectrale.
W. Odling. La chimie nouvelle.
Lauder Lindsay. L'intelligence chez les animaux inférieurs.
Stanley Jevons. La monnaie et le mécanisme de l'échange.
Michael Foster. Protoplasma et physiologie cellulaire.
Ed. Smith. Aliments et alimentation.
Amos. La science des lois.
Thiselton Dyer. Les inflorescences.
K. Clifford. Les fondements des sciences exactes.

Auteurs allemands.

Virchow. Physiologie des maladies.
Hermann. La respiration.
Leuckart. L'organisation des animaux.
O. Liebreich. La toxicologie.
Rees. Les plantes parasites.
Rosenthal. Physiologie des nerfs et des muscles.
Lommel. L'optique.
Steinthal. La science du langage.
Wundt. L'acoustique.
F. Cohn. Les Thallophytes.
Peters. Le bassin du Danube au point de vue géologique.
Fuchs. Les volcans.

Auteurs américains.

J. Dana. L'échelle et les progrès de la vie.
J. Cooke. La chimie nouvelle.
Austin Flint. Les fonctions du système nerveux.

Auteurs russes.

Kostomarof. Les chansons populaires et leur rôle dans l'histoire de Russie.
Maïnof. Les hérésies socialistes en Russie.
Podcowine. Histoire de la morale.
Loutschitzky. Le développement de la philosophie de l'histoire.
Jacoby. L'hygiène publique.
Kapoustine. Les relations internationales.

Coulommiers. — Typogr. A. MOUSSIN.

LIBRAIRIE

GERMER BAILLIÈRE

CATALOGUE

DES

LIVRES DE FONDS

(N° 2)

OUVRAGES HISTORIQUES

ET PHILOSOPHIQUES

JUILLET 1875

PARIS

17, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 17

COLLECTION HISTORIQUE DES GRANDS PHILOSOPHES

PHILOSOPHIE ANCIENNE

SOCRATE. **La philosophie de Socrate**, par M. Alf. FOUILLÉE. 2 vol. in-8. 16 fr.

PLATON. **La philosophie de Platon**, par M. Alf. FOUILLÉE. 2 vol. in-8. 16 fr.

— **Études sur la Dialectique dans Platon et dans Hegel**, par M. Paul JANET. 1 vol. in 8........... 6 fr.

ARISTOTE (Œuvres d'). traduction de M. BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE.

— **Psychologie** (Opuscules) 1 v.. 10 fr.

— **Rhétorique**. 2 vol......... 16 fr.

— **Politique**. 1 vol........... 10 fr.

— **Physique**. 2 vol............ 20 fr.

— **Traité du ciel**. 1 vol....... 10 fr.

— **Météorologie**. 1 vol........ 10 fr.

— **Morale**. 3 vol............. 24 fr.

— **Poétique**. 1 vol........... 5 fr.

— **De la production des choses**. 1 vol..................... 10 fr.

— **De la logique d'Aristote**, par M. BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE. 2 vol. in-8...................... 10 fr.

ÉCOLE D'ALEXANDRIE. **Histoire critique de l'École d'Alexandrie**, par M. VACHEROT. 3 vol. in-8 ..... 24 fr.

— **L'École d'Alexandrie**, par M. BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE. 1 vol. in-8. 6 fr.

PHILOSOPHIE MODERNE

LEIBNIZ. **Œuvres philosophiques**, avec introduction et notes par M. Paul JANET. 2 vol. in-8........... 16 fr.

MALEBRANCHE. **La philosophie de Malebranche**, par M. OLLÉ LAPRUNE. 2 vol in-8................. 16 fr.

VOLTAIRE. **La philosophie de Voltaire**, par M. Ern. BERSOT. 1 vol. in-12. 2 fr. 50

— **Les sciences au XVIIIe siècle**. Voltaire physicien, par M. Em. SAIGEY. 1 vol. in-8................ 5 fr.

RITTER. **Histoire de la Philosophie moderne**, traduit par P. Challemel-Lacour. 3 vol.............. 20 fr.

PHILOSOPHIE ÉCOSSAISE

DUGALD STEVART. **Éléments de la philosophie de l'esprit humain**, traduits de l'anglais par L. PEISSE. 3 vol. in-12. 9 fr.

W. HAMILTON. **Fragments de philosophie**, traduits de l'anglais par L. PEISSE. 1 vol. in-8.............. 7 fr. 50

— **La philosophie de Hamilton**, par J. STUART MILL. 1 vol. in-8.... 10 fr.

PHILOSOPHIE ALLEMANDE

KANT. **Critique de la raison pure**, traduite par M. TISSOT, 2 vol. in-8. 16 fr.

— Même ouvrage, traduction par M. Jules BARNI. 2 vol. in-8........... 16 fr.

— **Éclaircissements sur la critique de la raison pure**, traduits par J. TISSOT. 1 vol. in-8................... 6 fr.

KANT. **Critique du jugement**, suivie des *Observations sur les sentiments du beau et du sublime*, traduite par J. BARNI. 2 vol. in-8................ 12 fr.

— **Examen de la critique de la raison pratique**, traduit par M. J. BARNI. 1 vol. in-8................. 6 fr.

— **Principes métaphysiques du droit**, suivis du *projet de paix perpétuelle*, traduction par M. TISSOT. 1 vol. in-8. 8 fr.

— Même ouvrage, traduction par M. Jules BARNI. 1 vol. in-8............ 8 fr.

— **Principes métaphysiques de la morale**, augmentés des *fondements de la métaphysique des mœurs*, traduction par M. TISSOT. 1 vol. in-8..... 8 fr.

— Même ouvrage, traduction par M. Jules BARNI. 1 vol. in-8........... 8 fr.

— **La logique**, traduction par M. TISSOT. 1 vol. in-8................ 4 fr.

— **Mélanges de logique**, traduction par M. TISSOT. 1 vol. in-8......... 6 fr.

— **Prolégomènes à toute métaphysique future** qui se présentera comme science, traduction de M. TISSOT. 1 vol. in-8..................... 6 fr.

— **Anthropologie**, suivie de divers fragments relatifs aux rapports du physique et du moral de l'homme et du commerce des esprits d'un monde à l'autre, traduction par M. TISSOT. 1 vol. in 8.. 6 fr.

FICHTE. **Méthode pour arriver à la vie bienheureuse**, traduite par Francisque BOUILLIER. 1 vol. in-8 .. 8 fr.

— **Destination du savant et de l'homme de lettres**, traduite par M. NICOLAS. 1 vol. in-8........... 3 fr.

— **Doctrines de la science**. Principes fondamentaux de la science de la connaissance, traduits par GRIMBLOT. 1 vol. in-8..................... 9 fr.

SCHELLING. **Bruno** ou du principe divin, trad. par Cl. HUSSON. 1 vol. in-8. 3 fr. 50

— **Idéalisme transcendental**. 1 vol. in-8..................... 7 fr. 50

— **Écrits philosophiques** et morceaux propres à donner une idée de son système, trad. par Ch. BENARD. 1 vol. in-8 .. 9 fr.

HÉGEL. **Logique**, traduction par A. VÉRA. 2e édition. 2 vol. in-8........ 14 fr.

— **Philosophie de la nature**, traduction par A. VÉRA. 3 vol. in-8....... 25 fr.

— **Philosophie de l'esprit**, traduction par A. VÉRA. 2 vol. in-8....... 18 fr.

— **Esthétique**. 2 vol. in-8 traduite par M. BÉNARD................ 16 fr.

— **Introduction à la philosophie de Hégel**, par A. VÉRA. 1 v. in-8. 6 fr. 50

— **La dialectique dans Hégel et dans Platon**, par Paul JANET. In-8... 6 fr.

Bost.
LE PROTESTANTISME LIBÉRAL. 1 v.

Francisque Bouillier.
DU PLAISIR ET DE LA DOULEUR. 1 v.
DE LA CONSCIENCE. 1 vol.

Ed. Auber.
PHILOSOPHIE DE LA MÉDECINE. 1 vol.

Leblais.
MATÉRIALISME ET SPIRITUALISME, précédé d'une Préface par M. E. Littré. 1 vol.

Ad. Garnier.
DE LA MORALE DANS L'ANTIQUITÉ, précédé d'une Introduction par M. Prévost-Paradol. 1 vol.

Schœbel.
PHILOSOPHIE DE LA RAISON PURE. 1 vol.

Tissandier.
DES SCIENCES OCCULTES ET DU SPIRITISME. 1 vol.

J. Moleschott.
LA CIRCULATION DE LA VIE. Lettres sur la physiologie, en réponse aux Lettres sur la chimie de Liebig, trad. de l'allem. 2 vol.

Ath. Coquerel fils.
ORIGINES ET TRANSFORMATIONS DU CHRISTIANISME. 1 vol.
LA CONSCIENCE ET LA FOI. 1 vol.
HISTOIRE DU CREDO. 1 vol.

Jules Levallois.
DÉISME ET CHRISTIANISME. 1 vol.

Camille Selden.
LA MUSIQUE EN ALLEMAGNE. Étude sur Mendelssohn. 1 vol.

Fontanès.
LE CHRISTIANISME MODERNE. Étude sur Lessing. 1 vol.

Saigey.
LA PHYSIQUE MODERNE. 1 vol.

Mariano.
LA PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE EN ITALIE. 1 vol.

Letourneau.
PHYSIOLOGIE DES PASSIONS. 1 vol

Faivre.
DE LA VARIABILITÉ DES ESPÈCES. 1 vol.

Stuart Mill.
AUGUSTE COMTE ET LA PHILOSOPHIE POSITIVE, trad. de l'angl. 1 vol.

Ernest Bersot.
LIBRE PHILOSOPHIE. 1 vol.

A. Réville.
HISTOIRE DU DOGME DE LA DIVINITÉ DE JÉSUS-CHRIST. 1 vol.

W. de Fonvielle.
L'ASTRONOMIE MODERNE. 1 vol.

C. Coignet.
LA MORALE INDÉPENDANTE. 1 vol.

E. Boutmy.
PHILOSOPHIE DE L'ARCHITECTURE EN GRÈCE. 1 vol.

Et. Vacherot.
LA SCIENCE ET LA CONSCIENCE. 1 vol.

Ém. de Laveleye.
DES FORMES DE GOUVERNEMENT. 1 vol.

Herbert Spencer.
CLASSIFICATION DES SCIENCES. 1 v.

Gauckler.
LE BEAU ET SON HISTOIRE.

Max Müller.
LA SCIENCE DE LA RELIGION. 1 v.

Léon Dumont.
HAECKEL ET LA THÉORIE DE L'ÉVOLUTION EN ALLEMAGNE. 1 vol.

Bertauld.
L'ORDRE SOCIAL ET L'ORDRE MORAL. 1 vol.

Th. Ribot.
PHILOSOPHIE DE SCHOPENHAUER. 1 vol.

Al. Herzen.
PHYSIOLOGIE DE LA VOLONTÉ. 1 vol.

Bentham et Grote.
LA RELIGION NATURELLE 1 vol.

Liard.
LES GENRES ET LES ESPÈCES. (*Sous presse.*) 1 vol.

BIBLIOTHÈQUE D'HISTOIRE CONTEMPORAINE

Volumes in-18, à 3 fr. 50 c. — Cartonnés, 4 fr.

Carlyle.
HISTOIRE DE LA RÉVOLUTION FRANÇAISE, traduite de l'angl. 3 vol.

Victor Meunier.
SCIENCE ET DÉMOCRATIE. 2 vol.

Jules Barni.
HISTOIRE DES IDÉES MORALES ET POLITIQUES EN FRANCE AU XVIII[e] SIÈCLE. 2 vol.
NAPOLÉON I[er] ET SON HISTORIEN M. THIERS. 1 vol.
LES MORALISTES FRANÇAIS AU XVIII[e] SIÈCLE. 1 vol.

Auguste Laugel.
LES ÉTATS-UNIS PENDANT LA GUERRE (1861-1865). Souvenirs personnels. 1 vol.

De Rochau.
HISTOIRE DE LA RESTAURATION, traduite de l'allemand. 1 vol.

Eug. Véron.
HISTOIRE DE LA PRUSSE depuis la mort de Frédéric II jusqu'à la bataille de Sadowa. 1 vol.
HISTOIRE DE L'ALLEMAGNE depuis la bataille de Sadowa jusqu'à nos jours, 1 vol.

Hillebrand.
LA PRUSSE CONTEMPORAINE ET SES INSTITUTIONS. 1 vol.

Eug. Despois.
LE VANDALISME RÉVOLUTIONNAIRE. Fondations litt., scientif. et artist. de la Convention. 1 vol.

Bagehot.
LA CONSTITUTION ANGLAISE, trad. de l'anglais. 1 vol.
LOMBARD STREET, le marché financier en Angl., tr. de l'angl. 1 v.

Thackeray.
LES QUATRE GEORGE, trad. de l'anglais par M. Lefoyer. 1 vol.

Émile Montégut.
LES PAYS-BAS. Impressions de voyage et d'art. 1 vol.

Émile Beaussire.
LA GUERRE ÉTRANGÈRE ET LA GUERRE CIVILE. 1 vol.

Édouard Sayous.
HISTOIRE DES HONGROIS et de leur littérature politique de 1790 à 1815. 1 vol.

Éd. Bourloton.
L'ALLEMAGNE CONTEMPORAINE. 1 v

Boert.
LA GUERRE DE 1870-71 d'après le colonel féd. suisse Rustow. 1 v.

Herbert Barry.
LA RUSSIE CONTEMPORAINE, traduit de l'anglais. 1 vol.

H. Dixon.
LA SUISSE CONTEMPORAINE, traduit de l'anglais. 1 vol.

Louis Teste.
L'ESPAGNE CONTEMPORAINE, journal d'un voyageur. 1 vol.

J. Clamageran.
LA FRANCE RÉPUBLICAINE. 1 vol.

E. Duvergier de Hauranne.
LA RÉPUBLIQUE CONSERVATRICE. 1 v.

H. Reynald.
HISTOIRE DE L'ESPAGNE, depuis la mort de Charles III jusqu'à nos jours. 1 vol.
HISTOIRE DE L'ANGLETERRE, depuis la mort de la reine Anne jusqu'à nos jours. 1 vol.

L. Asseline.
HISTOIRE DE L'AUTRICHE, depuis la mort de Marie-Thérèse jusqu'à nos jours.

Élie Sorin.
HISTOIRE DE L'ITALIE depuis 1815 jusqu'à nos jours. 1 vol.

FORMAT IN-8.

Sir G. Cornewall Lewis.
HISTOIRE GOUVERNEMENTALE DE L'ANGLETERRE DE 1770 JUSQU'A 1830, trad. de l'anglais. 1 vol. 7 fr.

De Sybel.
HISTOIRE DE L'EUROPE PENDANT LA RÉVOLUTION FRANÇAISE. 2 vol. in-8. 14 fr.

Taxile Delord.
HISTOIRE DU SECOND EMPIRE, 1848-1870.
1869. Tome I[er], 1 vol. in-8. 7 fr.
1870. Tome II, 1 vol. in-8. 7 fr.
1872. Tome III, 1 vol. in-8 7 fr.
1874. Tome IV, 1 vol. in-8. 7 fr.
1874. Tome V, 1 vol. in 8. 7 fr.
1875. Tome VI et dernier, 7 fr.

REVUE Politique et Littéraire (Revue des cours littéraires, 2ᵉ série.)	REVUE Scientifique (Revue des cours scientifiques, 2ᵉ série.)

Directeurs : MM. Eug. YUNG et Ém. ALGLAVE

La septième année de la **Revue des Cours littéraires** et de la **Revue des Cours scientifiques**, terminée à la fin de juin 1871, clôt la première série de cette publication.

La deuxième série a commencé le 1er juillet 1871, et depuis cette époque chacune des années de la collection commence à cette date. Des modifications importantes ont été introduites dans ces deux publications.

REVUE POLITIQUE ET LITTÉRAIRE

La *Revue politique* continue à donner une place aussi large à la littérature, à l'histoire, à la philosophie, etc., mais elle a agrandi son cadre, afin de pouvoir aborder en même temps la politique et les questions sociales. En conséquence, elle a augmenté de moitié le nombre des colonnes de chaque numéro (48 colonnes au lieu de 32).

Chacun des numéros, paraissant le samedi, contient régulièrement :

Une *Semaine politique* et une *Causerie politique* où sont appréciés, à un point de vue plus général que ne peuvent le faire les journaux quotidiens, les faits qui se produisent dans la politique intérieure de la France, discussions de l'Assemblée, etc.

Une *Causerie littéraire* où sont annoncés, analysés et jugés les ouvrages récemment parus : livres, brochures, pièces de théâtre importantes, etc.

Tous les mois la *Revue politique* publie un *Bulletin géographique* qui expose les découvertes les plus récentes et apprécie les ouvrages géographiques nouveaux de la France et de l'étranger. Nous n'avons pas besoin d'insister sur l'importance extrême qu'a prise la géographie depuis que les Allemands en ont fait un instrument de conquête et de domination.

De temps en temps une *Revue diplomatique* explique au point de vue français les événements importants survenus dans les autres pays.

On accusait avec raison les Français de ne pas observer

avec assez d'attention ce qui se passe à l'étranger. La *Revue* remédie à ce défaut. Elle analyse et traduit les livres, articles, discours ou conférences qui ont pour auteurs les hommes les plus éminents des divers pays.

Comme au temps où ce recueil s'appelait *la Revue des cours littéraires* (1864-1870), il continue à publier les principales leçons du Collége de France, de la Sorbonne et des Facultés des départements.

Les ouvrages importants sont analysés, avec citations et extraits, dès le lendemain de leur apparition. En outre, la *Revue politique* publie des articles spéciaux sur toute question que recommandent à l'attention des lecteurs, soit un intérêt public, soit des recherches nouvelles.

Parmi les collaborateurs, nous citerons :

Articles politiques. — MM. de Pressensé, Ernest Duvergier de Hauranne, H. Aron, Anat. Dunoyer, Clamageran.

Diplomatie et pays étrangers. — MM. Van den Berg, Albert Sorel, Reynald, Léo Quesnel, Louis Leger.

Philosophie. — MM. Janet, Caro, Ch. Lévêque, Véra, Léon Dumont, Th. Ribot, Huxley.

Morale. — MM. Ad. Franck, Laboulaye, Jules Barni, Legouvé, Ath. Coquerel, Bluntschli.

Philologie et archéologie. — MM. Max Müller, Eugène Benoist, L. Havet, E. Ritter, Maspéro, George Smith.

Littérature ancienne. — MM. Egger, Havet, George Perrot, Gaston Boissier, Géffroy, Martha.

Littérature française. — MM. Ch. Nisard, Lenient, L. de Loménie, Édouard Fournier, Bersier, Gidel, Jules Claretie, Paul Albert.

Littérature étrangère. — MM. Mézières, Büchner.

Histoire. — MM. Alf. Maury, Littré, Alf. Rambaud, G. Monod.

Géographie, Economie politique. — MM. Levasseur, Himly, Gaidoz, Alglave.

Instruction publique. — Madame C. Coignet, M. Buisson, Em. Beaussire.

Beaux-arts. — MM. Gebhart, C. Selden, Justi, Schnaase, Vischer. Ch. Bigot.

Critique littéraire. — MM. Eugène Despois, Maxime Gaucher, Paul Albert.

Ainsi la *Revue politique* embrasse tous les sujets. Elle consacre à chacun une place proportionnée à son importance. Elle est, pour ainsi dire, une image vivante, animée et fidèle de tout le mouvement contemporain.

REVUE SCIENTIFIQUE

Mettre la science à la portée de tous les gens éclairés sans l'abaisser ni la fausser, et, pour cela, exposer les grandes découvertes et les grandes théories scientifiques par leurs auteurs mêmes ;

Suivre le mouvement des idées philosophiques dans le monde savant de tous les pays :

Tel est le double but que la *Revue scientifique* poursuit depuis dix ans avec un succès qui l'a placée au premier rang des publications scientifiques d'Europe et d'Amérique.

Pour réaliser ce programme, elle devait s'adresser d'abord aux Facultés françaises et aux Universités étrangères qui comptent dans leur sein presque tous les hommes de science éminents. Mais, depuis deux années déjà, elle a élargi son cadre afin d'y faire entrer de nouvelles matières.

En laissant toujours la première place à l'enseignement supérieur proprement dit, la *Revue scientifique* ne se restreint plus désormais aux leçons et aux conférences. Elle poursuit tous les développements de la science sur le terrain économique, industriel, militaire et politique.

Elle publie les principales leçons faites au Collége de France, au Muséum d'histoire naturelle de Paris, à la Sorbonne, à l'Institution royale de Londres, dans les Facultés de France, les universités d'Allemagne, d'Angleterre, d'Italie, de Suisse, d'Amérique, et les institutions libres de tous les pays.

Elle analyse les travaux des Sociétés savantes d'Europe et d'Amérique, des Académies des sciences de Paris, Vienne, Berlin, Munich, etc., des Sociétés royales de Londres et d'Édimbourg, des Sociétés d'anthropologie, de géographie, de chimie, de botanique, de géologie, d'astronomie, de médecine, etc.

Elle expose les travaux des grands congrès scientifiques, les Associations *française*, *britannique* et *américaine*, le congrès des naturalistes allemands, la Société helvétique des sciences naturelles, les congrès internationaux d'anthropologie préhistorique, etc.

Enfin, elle publie des articles sur les grandes questions de philosophie naturelle, les rapports de la science avec la politique, l'industrie et l'économie sociale, l'organisation scientifique des divers pays, les sciences économiques et militaires, etc.

Parmi les collaborateurs nous citerons :

Astronomie, météorologie. — MM. Leverrier, Faye, Balfour-Stewart, Janssen, Normann Lockyer, Vogel, Wolf, Miller, Laussedat, Thomson, Rayet, Secchi, Briot, Herschell, etc.

Physique. — MM. Helmholtz, Tyndall, Jamin, Dessains, Carpenter, Gladstone, Grad, Boutan, Becquerel, Cazin, Fernet, Onimus, Bertin.

Chimie. — MM. Wurtz, Berthelot, H. Sainte-Claire Deville, Bouchardat, Grimaux, Jungfleisch, Mascart, Odling, Dumas, Troost, Peligot, Cahours, Graham, Friedel, Pasteur.

Géologie. — MM. Hébert, Bleicher, Fouqué, Gaudry, Ramsay, Sterry-Hunt, Contejean, Zittel, Wallace, Lory, Lyell, Daubrée

Zoologie. — MM. Agassiz, Darwin, Haeckel, Milne Edwards, Perrier, P. Bert, Van Beneden, Lacaze-Duthiers, Pasteur, Pouchet Joly, De Quatrefages, Faivre, A. Moreau, E. Blanchard, Marey.

Anthropologie. — MM. Broca, De Quatrefages, Darwin, De Mortillet, Virchow, Lubbock, K. Vogt.

Botanique. — MM. Baillon, Brongniart, Cornu, Faivre, Spring, Chatin, Van Tieghem, Duchartre.

Physiologie, anatomie. — MM. Claude Bernard, Chauveau, Fraser, Gréhant, Lereboullet, Moleschott, Onimus, Ritter, Rosenthal, Wundt, Pouchet, Ch. Robin, Vulpian, Virchow, P. Bert, du Bois-Reymond, Helmholtz, Frankland, Brücke.

Médecine. — MM. Chauffard, Chauveau, Cornil, Gubler, Le Fort, Verneuil, Broca, Liebreich, Lorain, Axenfeld, Lasègue, G. Sée, Bouley, Giraud-Teulon, Bouchardat.

Sciences militaires. — MM. Laussedat, Le Fort, Abel, Jervois, Morin, Noble, Reed, Usquin.

Philosophie scientifique. — MM. Alglave, Bagehot, Carpenter, Léon Dumont, Hartmann, Herbert Spencer, Laycock, Lubbock, Tyndall, Gavarret, Ludwig, Ribot.

Prix d'abonnement :

Une seule revue séparément	Six mois.	Un an.	Les deux revues ensemble	Six mois.	Un an.
Paris	12f	20f	Paris	20f	36f
Départements.	15	25	Départements.	25	42
Étranger....	18	30	Étranger....	30	50

L'abonnement part du 1er juillet, du 1er octobre, du 1er janvier et du 1er avril de chaque année.

Chaque volume de la première série se vend : broché...... 15 fr.
relié........ 20 fr.
Chaque année de la 2e série, formant 2 vol., se vend : broché.. 20 fr.
relié.... 25 fr.

Prix de la collection de la première série :

Prix de la collection complète de la *Revue des cours littéraires* (1864-1870), 7 vol. in-4 .... 105 fr.

Prix de la collection complète des deux *Revues* prises en même temps, 14 vol. in-4 .... 182 fr.

Prix de la collection complète des deux séries :

Revue des cours littéraires et *Revue politique et littéraire* (décembre 1863 — juillet 1875), 15 vol. in-4 .... 185 fr.

— Avec la *Revue des cours scientifiques* et la *Revue scientifique*, 30 vol. in-4 .... 326 fr.

BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE
INTERNATIONALE

Le premier besoin de la science contemporaine, — on pourrait même dire d'une manière plus générale des sociétés modernes, — c'est l'échange rapide des idées entre les savants, les penseurs, les classes éclairées de tous les pays. Mais ce besoin n'obtient encore aujourd'hui qu'une satisfaction fort imparfaite. Chaque peuple a sa langue particulière, ses livres, ses revues, ses manières spéciales de raisonner et d'écrire, ses sujets de prédilection. Il lit fort peu ce qui se publie au delà de ses frontières, et la grande masse des classes éclairées, surtout en France, manque de la première condition nécessaire pour cela, la connaissance des langues étrangères. On traduit bien un certain nombre de livres anglais ou allemands ; mais il faut presque toujours que l'auteur ait à l'étranger des amis soucieux de répandre ses travaux, ou que l'ouvrage présente un caractère pratique qui en fait une bonne entreprise de librairie. Les plus remarquables sont loin d'être toujours dans ce cas, et il en résulte que les idées neuves restent longtemps confinées, au grand détriment des progrès de l'esprit humain, dans le pays qui les a vues naître. Le libre échange industriel règne aujourd'hui presque partout ; le libre échange intellectuel n'a pas encore la même fortune, et cependant il ne peut rencontrer aucun adversaire ni inquiéter aucun préjugé.

Ces considérations avaient frappé depuis longtemps un certain nombre de savants anglais. Au congrès de l'Association britannique à Édimbourg, ils tracèrent le plan d'une *Bibliothèque scientifique internationale*, paraissant à la fois en anglais, en français et en allemand, publiée en Angleterre, en France, aux États-Unis, en Allemagne, et réunissant des ouvrages écrits par les savants les plus distingués de tous les pays. En venant en France pour chercher à réaliser cette idée, ils devaient naturellement s'adresser à la *Revue scientifique*, qui marchait dans la même voie, et qui projetait au même moment, après les désastres de la guerre, une entreprise semblable destinée à étendre en quelque sorte son cadre et à faire connaître plus rapidement en France les livres et les idées des peuples voisins.

La *Bibliothèque scientifique internationale* n'est donc pas une entreprise de librairie ordinaire. C'est une œuvre dirigée par les auteurs mêmes, en vue des intérêts de la science, pour la populariser sous toutes ses formes, et faire connaître immédiatement dans le monde entier les idées originales, les directions nouvelles, les découvertes importantes qui se font chaque jour dans tous les pays. Chaque savant exposera les idées qu'il a introduites dans la science et condensera pour ainsi dire ses doctrines les plus originales.

On pourra ainsi, sans quitter la France, assister et participer au mouvement des esprits en Angleterre, en Allemagne, en Amérique, en Italie, tout aussi bien que les savants mêmes de chacun de ces pays.

La *Bibliothèque scientifique internationale* ne comprend pas seulement des ouvrages consacrés aux sciences physiques et naturelles, elle aborde aussi les sciences morales comme la philosophie, l'histoire, la politique et l'économie sociale, la haute législation, etc.; mais les livres traitant des sujets de ce genre se rattacheront encòre aux sciences naturelles, en leur empruntant les méthodes d'observation et d'expérience qui les ont rendues si fécondes depuis deux siècles.

Cette collection paraît à la fois en français, en anglais, en allemand, en russe et en italien : à Paris, chez Germer Baillière; à Londres, chez Henry S. King et Ce; à New-York, chez Appleton; à Leipzig, chez Brockaus; à Saint-Pétersbourg, chez Koropchevski et Goldsmith, et à Milan, chez Dumolard frères.

EN VENTE :

VOLUMES IN-8, CARTONNÉS A L'ANGLAISE

J. TYNDALL. **Les glaciers et les transformations de l'eau**, avec figures. 1 vol. in-8. 6 fr.

MAREY. **La machine animale**, locomotion terrestre et aérienne, avec de nombreuses figures. 1 vol. in-8. 6 fr.

BAGEHOT. **Lois scientifiques du développement des nations** dans leurs rapports avec les principes de la sélection naturelle et de l'hérédité. 1 vol. in-8. 6 fr.

BAIN. **L'esprit et le corps**. 1 vol. in-8. 6 fr.

PETTIGREW. **La locomotion chez les animaux**, marche, natation, vol. 1 vol. in-8 avec figures. 6 fr.

HERBERT SPENCER. **La science sociale**. 1 vol. 6 fr.

VAN BENEDEN. **Les commensaux et les parasites dans le règne animal**, 1 vol. in-8, avec figures. 6 fr.

O. SCHMIDT. **La descendance de l'homme et le darwinisme**. 1 vol. in-8 avec figures. 6 fr.

MAUDSLEY. **Le Crime et la Folie**. 1 vol. in-8 6 fr.

BALFOUR STEWART. **La conservation de l'énergie**. 1 vol. in-8, avec figures. 6 fr.

DRAPER. **Les conflits de la science et de la religion**. 1 v. in-8. 6 fr.

SCHUTZENBERGER. **Les fermentations**. 1 vol. in-8, avec fig. 6 fr.

L. DUMONT. **Théorie scientifique de la sensibilité**. 1 v. in-8. 6 fr.

COOKE ET BERKELEY. **Les champignons**. 1 v. in-8, avec fig. 6 fr.

W. D. WITHNEY. **La vie du langage**. 1 vol. in-8. 6 fr.

OUVRAGES SUR LE POINT DE PARAITRE :

VOGEL. **La photographie et la chimie de la lumière**, avec 100 fig.

BERNSTEIN. **Les organes des sens**. 6 fr.

LUYS. **Le cerveau et ses fonctions**, avec figures. 6 fr.

CLAUDE BERNARD. **Histoire des théories de la vie**. 6 fr.

É. ALGLAVE. **Les principes des constitutions politiques**. 6 fr.

FRIEDEL. **Les fonctions en chimie organique**. 6 fr.

DE QUATREFAGES. **L'espèce humaine**. 6 fr.

BERTHELOT. **La synthèse chimique**. 6 fr.

Liste des principaux ouvrages qui sont en préparation :

AUTEURS FRANÇAIS

CLAUDE BERNARD. Phénomènes physiques et Phénomènes métaphysiques de la vie.
HENRI SAINTE-CLAIRE DEVILLE. Introduction à la chimie générale.
A. WURTZ. Atomes et atomicité.
C. VOGT. Physiologie du parasitisme. — Les animaux fossiles.
H. DE LACAZE-DUTHIERS. La zoologie depuis Cuvier.
TAINE. Les émotions et la volonté.
Général FAIDHERBE. Le Sénégal.
ALFRED GRANDIDIER. Madagascar.
A. GIARD. L'embryogénie générale
DEBRAY. Les métaux précieux.
P. BERT. Les êtres vivants et les milieux cosmiques.
LORAIN. Les épidémies modernes.

AUTEURS ANGLAIS

HUXLEY. Mouvement et conscience.
W. B. CARPENTER. Géographie physique des mers.
RAMSAY. Structure de la terre.
SIR J. LUBBOCK. Premiers âges de l'humanité.
CHARLTON BASTIAN. Le cerveau comme organe de la pensée.
NORMAN LOCKYER. L'analyse spectrale.
W. ODLING. La chimie nouvelle.
LAWDER LINDSAY. L'intelligence chez les animaux inférieurs.
STANLEY JEVONS. La monnaie et le mécanisme de l'échange.
MICHAEL FOSTER. Protoplasma et physiologie cellulaire.
ED. SMITH. Aliments et alimentation.
AMOS. La science des lois.
THISELTON DYER. Les inflorescences.
K. CLIFFORD. Les fondements des sciences exactes.

AUTEURS ALLEMANDS

VIRCHOW. Physiologie des maladies.
HERMANN. La respiration.
LEUCKART. L'organisation des animaux.
O. LIEBREICH. La toxicologie.
REES. Les plantes parasites.
ROSENTHAL. Physiologie des nerfs et des muscles.
LOMMEL. L'optique.
STEINTHAL. La science du langage.
WUNDT. L'acoustique.
F. COHN. Les Thallophytes.
PETERS. Le bassin du Danube au point e vue géologique.
FUCHS. Les volcans.

AUTEURS AMÉRICAINS

J. DANA. L'échelle et les progrès de la vie.
S. W. JOHNSON. La nutrition des plantes.
J. COOKE. La chimie nouvelle.
A. FLINT. Les fonctions du système nerveux.

AUTEURS RUSSES

KOSTOMAROF. Les chansons populaires et leur rôle dans l'histoire de Russie.
MAÏNOF. Les hérésies socialistes en Russie.
PODCOWINE. Histoire de la morale.
LOUTSCHITZKI. Le développement de la philosophie de l'histoire.
JACOBY. L'hygiène publique.
KAPOUSTINE. Les relations internationales.

OUVRAGES
De M. le professeur VÉRA

Professeur à l'université de Naples.

Introduction à la philosophie de Hégel. 1 vol. in-8, 1864, 2e édition. 6 fr. 50

Logique de Hégel, traduite pour la première fois, et accompagnée d'une introduction et d'un commentaire perpétuel. 2 vol. in-8, 1874, 2e édition. 14 fr.

Philosophie de la nature, de Hégel, traduite pour la première fois, et accompagnée d'une introduction et d'un commentaire perpétuel. 3 vol. in-8. 1864-1866. 25 fr.
Prix du tome II. 8 fr. 50
Prix du tome III. 8 fr. 50

Philosophie de l'esprit, de Hégel, traduite pour la première fois, et accompagnée d'une introduction et d'un commentaire perpétuel. tome 1er, 1 vol. in-8, 1867. 9 fr.
tome 2e, 1 vol. in-8, 1870. 9 fr.

Philosophie de la Religion de Hégel. 2 vol. in-8. (*Sous presse.*)

L'Hégélianisme et la philosophie. 1 vol. in-18. 1861. 3 fr. 50

Mélanges philosophiques. 1 vol. in-8. 1862. 5 fr.

Essais de philosophie hégélienne (de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine*). 1 vol. 2 fr. 50

Platonis, Aristotelis et Hegelii de medio termino doctrina. 1 vol. in-8. 1845. 1 fr. 50

Strauss. L'ancienne et la nouvelle foi. 1873, in-8. 6 fr.

Cavour et l'église libre dans l'État libre. 1 vol. in-8, 1874. 3 fr. 50

RÉCENTES PUBLICATIONS

HISTORIQUES ET PHILOSOPHIQUES

Qui ne se trouvent pas dans les deux Bibliothèques.

ACOLLAS (Émile). **L'enfant né hors mariage.** 3ᵉ édition. 1872, 1 vol. in-18 de x-165 pages. 2 fr.

ACOLLAS (Émile). **Manuel de droit civil,** commentaire philosophique et critique du code Napoléon, contenant l'exposé complet des systèmes juridiques. 3 vol. in-8 ; chaque volume séparément. 12 fr.

ACOLLAS (Émile). **Trois leçons sur le mariage.** In-8. 1 fr. 50

ACOLLAS (Émile). **L'idée du droit.** In-8. 1 fr. 50

ACOLLAS (Émile). **Nécessité de refondre l'ensemble de nos codes,** et notamment le code Napoléon, au point de vue de l'idée démocratique. 1866, 1 vol. in-8. 3 fr.

Administration départementale et communale. Lois — Décrets — Jurisprudence, conseil d'État, cour de Cassation, décisions et circulaires ministérielles, in-4. 2ᵉ éd. 15 fr.

ALAUX. **La religion progressive.** 1869, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

ARISTOTE. **Rhétorique** traduite en français et accompagnée de notes par J. Barthélemy Saint-Hilaire. 1870, 2 vol. in-8. 16 fr.

ARISTOTE. **Psychologie** (opuscules) traduite en français et accompagnée de notes par J. Barthélemy Saint-Hilaire. 1 vol. in-8. 10 fr.

ARISTOTE. **Politique,** trad. par Barthélemy Saint-Hilaire, 1868. 1 fort vol. in-8. 10 fr.

ARISTOTE. **Physique,** ou leçons sur les principes généraux de la nature, traduit par M. Barthélemy Saint-Hilaire. 2 forts vol. gr. in-8. 1872. 20 fr.

ARISTOTE. **Traité du Ciel.** 1866, traduit en français pour la première fois par M. Barthélemy Saint-Hilaire. 1 fort vol. gr. in-8. 10 fr.

ARISTOTE. **Météorologie,** avec le petit traité apocryphe : *Du Monde*, traduit par M. Barthélemy Saint-Hilaire, 1863. 1 fort vol. gr. in-8. 10 fr.

ARISTOTE. **Morale,** traduit par M. Barthélemy Saint-Hilaire. 1856, 3 vol gr. in-8. 24 fr.

ARISTOTE. **Poétique,** traduite par M. Barthélemy Saint-Hilaire, 1858. 1 vol. in-8. 5 fr.

ARISTOTE. **Traité de la production et de la destruction des choses,** traduit en français et accompagné de notes perpétuelles, par M. Barthélemy Saint-Hilaire, 1866. 1 vol. gr. in-8. 10 fr.

AUDIFFRET-PASQUIER. **Discours devant les commissions de la réorganisation de l'armée et des marchés.** In-4. 2 fr. 50

L'art et la vie. 1867, 2 vol. in-8. 7 r.

L'art et la vie de Stendhal. 1869, 1 fort vol. in-8. 6 fr.

BAGEHOT. **Lois scientifiques du développement des nations** dans leurs rapports avec les principes de l'hérédité et de la sélection naturelle. 1873, 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scientifique internationale*, cartonné à l'anglaise. 6 fr.

BARNI (Jules). **Napoléon Ier**, édition populaire. 1 vol. in-18. 1 fr.

BARNI (Jules). **Manuel républicain.** 1872, 1 vol. in-18. 1 fr. 50

BARNI (Jules). **Les martyrs de la libre pensée**, cours professé à Genève. 1862, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

BARNI (Jules). Voy. KANT.

BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE. Voyez Aristote.

BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE. **De la Logique d'Aristote.** 2 vol. gr. in-8. 10 fr.

BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE. **L'École d'Alexandrie.** 1 vol. in-8. 6 fr.

BAUTAIN. **La philosophie morale.** 2 vol. in-8. 12 fr.

CH. BÉNARD. **L'Esthétique de Hégel**, traduit de l'allemand. 2 vol. in-8. 16 fr.

CH. BÉNARD. **De la Philosophie dans l'éducation classique**, 1862. 1 fort vol. in-8. 6 fr.

CH. BÉNARD. **La Poétique**, par W.-F. Hégel, précédée d'une préface et suivie d'un examen critique. Extraits de Schiller, Goëthe, Jean Paul, etc., et sur divers sujets relatifs à la poésie. 2 vol. in-8. 12 fr.

BLANCHARD. **Les métamorphoses, les mœurs et les instincts des insectes**, par M. Émile BLANCHARD, de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle. 1868, 1 magnifique volume in-8 jésus, avec 160 figures intercalées dans le texte et 40 grandes planches hors texte. Prix, broché. 30 fr.
Relié en demi-maroquin. 35 fr.

BLANQUI. **L'éternité par les astres**, hypothèse astronomique. 1872, in-8. 2 fr.

BORELY (J.). **Nouveau système électoral, représentation proportionnelle de la majorité et des minorités.** 1870, 1 vol. in-18 de XVIII-194 pages. 2 fr. 50

BORELY. **De la justice et des juges**, projet de réforme judiciaire. 1871, 2 vol. in-8. 12 fr.

BOUCHARDAT. **Le travail**, son influence sur la santé (conférences faites aux ouvriers). 1863, 1 vol. in-18. 2 fr. 50

BOUCHARDAT et H. JUNOD. **L'eau-de-vie et ses dangers**, conférences populaires. 1 vol. in-18. 1 fr.

BERSOT. **La philosophie de Voltaire.** 1 vol in-12. 2 fr. 50

ÉD. BOURLOTON et E. ROBERT. **La Commune** et ses idées à travers l'histoire. 1872, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

BOUCHUT. **Histoire de la médecine et des doctrines médicales.** 1873, 2 forts vol. in-8. 16 fr.

BOUCHUT et DESPRÉS. **Dictionnaire de médecine et de thérapeutique médicale et chirurgicale**, comprenant le résumé de la médecine et de la chirurgie, les indications thérapeu-

tiques de chaque maladie, la médecine opératoire, les accouchements, l'oculistique, l'odontechnie, l'électrisation, la matière médicale, les eaux minérales, et *un formulaire spécial pour chaque maladie.* 1873. 2e édit. très-augmentée. 1 magnifique vol. in-4, avec 750 fig. dans le texte. 25 fr.

BOUILLET (ADOLPHE). **L'armée d'Henri V. — Les bourgeois gentilshommes de 1871.** 1 vol. in-12. 3 fr. 50

BOUILLET (ADOLPHE). **L'armée d'Henri V. — Les bourgeois gentilshommes.** Types nouveaux et inédits. 1 vol. in-18. 2 fr. 50

BOUILLET (ADOLPHE). **L'armée d'Henri V. — Bourgeois gentilshommes.** — Arrière-ban de l'ordre moral, 1873-1874. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

BOUTROUX. **De la contingence des lois de la nature,** in-8, 1874. 4 fr.

BOUTROUX. **De veritatibus æternis apud cartesium,** hæc apud facultatem litterarum parisiensem disputabat, in-8. 2 fr.

BRIERRE DE BOISMONT. **Des maladies mentales,** 1867, brochure in-8 extraite de la *Pathologie médicale* du professeur Requin. 2 fr.

BRIERRE DE BOISMONT. **Des hallucinations, ou Histoire raisonnée des apparitions,** des visions, des songes, de l'extase, du magnétisme et du somnambulisme. 1862, 3e édition très-augmentée. 7 fr.

BRIERRE DE BOISMONT. **Du suicide et de la folie suicide.** 1865, 2e édition, 1 vol. in-8. 7 fr.

CHASLES (PHILARÈTE). **Questions du temps et problèmes d'autrefois.** Pensées sur l'histoire, la vie sociale, la littérature. 1 vol. in-18, édition de luxe. 3 fr.

CHASSERIAU. **Du principe autoritaire et du principe rationnel.** 1873, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

CLAMAGERAN. **L'Algérie.** Impressions de voyage, 1874. 1 vol. in-18 avec carte. 3 fr. 50

CLAVEL. **La morale positive.** 1873, 1 vol. in-18. 3 fr.

Conférences historiques de la Faculté de médecine faites pendant l'année 1865. (*Les Chirurgiens érudits,* par M. Verneuil. — *Gui de Chauliac,* par M. Follin. — *Celse,* par M. Broca. — *Wurtzius,* par M. Trélat. — *Riolan,* par M. Le Fort. — *Levret,* par M. Tarnier. — *Harvey,* par M. Béclard. — *Stahl,* par M. Lasègue. — *Jenner,* par M. Lorain. — *Jean de Vier et les sorciers,* par M. Axenfeld.— *Laennec,* par M. Chauffard.— *Sylvius,* par M. Gubler.—*Stoll,* par M. Parrot.) 1 vol. in-8. 6 fr.

COQUEREL (Charles). **Lettres d'un marin à sa famille.** 1870, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

COQUEREL (Athanase). Voyez *Bibliothèque de philosophie contemporaine.*

COQUEREL fils (Athanase). **Libres études** (religion, critique, histoire, beaux-arts). 1867, 1 vol. in-8. 5 fr.

COQUEREL fils (Athanase). **Pourquoi la France n'est-elle pas protestante?** Discours prononcé à Neuilly le 1er novembre 1866. 2e édition, in-8. 1 fr.

COQUEREL fils (Athanase). **La charité sans peur**, sermon en faveur des victimes des inondations, prêché à Paris le 18 novembre 1866. In-8. 75 c.

COQUEREL fils (Athanase). **Évangile et liberté**, discours d'ouverture des prédications protestantes libérales, prononcé le 8 avril 1868. In-8. 50 c.

COQUEREL fils (Athanase). **De l'éducation des filles**, réponse à Mgr l'évêque d'Orléans, discours prononcé le 3 mai 1868. In-8. 1 fr.

CORLIEU. **La mort des rois de France** depuis François Ier jusqu'à la Révolution française, 1 vol. in-18 en caractères elzéviriens, 1874. 3 fr. 50

Conférences de la Porte-Saint-Martin pendant le siége de Paris. Discours de MM. *Desmarets* et *de Pressensé*. — Discours de M. *Coquerel*, sur les moyens de faire durer la République. — Discours de M. *Le Berquier*, sur la Commune. — Discours de M. *E. Bersier*, sur la Commune. — Discours de M. *H. Cernuschi*, sur la Légion d'honneur. In-8. 1 fr. 25

CORNIL. **Leçons élémentaires d'hygiène**, rédigées pour l'enseignement des lycées d'après le programme de l'Académie de médecine. 1873, 1 vol. in-18 avec figures intercalées dans le texte. 2 fr. 50

Sir G. CORNEWALL LEWIS. **Histoire gouvernementale de l'Angleterre de 1770 jusqu'à 1830**, trad. de l'anglais et précédée de la vie de l'auteur, par M. Mervoyer. 1867, 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque d'histoire contemporaine*. 7 fr.

Sir G. CORNEWALL LEWIS. **Quelle est la meilleure forme de gouvernement?** Ouvrage traduit de l'anglais; précédé d'une Étude sur la vie et les travaux de l'auteur, par M. Mervoyer, docteur ès lettres. 1867, 1 vol. in-8. 3 fr. 50

CORTAMBERT (Louis). **La religion du progrès.** 1874, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

DAMIRON. **Mémoires pour servir à l'histoire de la philosophie au XVIIIe siècle.** 3 vol. in-8. 12 fr.

DELAVILLE. **Cours pratique d'arboriculture fruitière** pour la région du nord de la France, avec 269 fig. In-8. 6 fr.

DELEUZE. **Instruction pratique sur le magnétisme animal**, précédée d'une Notice sur la vie de l'auteur. 1853. 1 vol. in-12. 3 fr. 50

DELORD (Taxile). **Histoire du second empire. 1848-1870.**
- 1869. Tome Ier, 1 fort vol. in-8. 7 fr.
- 1870. Tome II, 1 fort vol. in-8. 7 fr.
- 1873. Tome III, 1 fort vol. in-8. 7 fr.
- 1874. Tome IV, 1 fort vol. in-8. 7 fr.
- 1874. Tome V, 1 fort vol. in-8. 7 fr.
- 1875. Tome VI et dernier. 1 fort vol. in-8. 7 fr.

DENFERT (colonel). **Des droits politiques des militaires.** 1874, in-8. 75 c.

DIARD (H.). **Études sur le système pénitentiaire.** 1875, 1 vol. in-8. 1 fr. 50

DOLLFUS (Charles). **De la nature humaine.** 1868, 1 vol. in-8. 5 fr.

DOLLFUS (Charles). **Lettres philosophiques.** 3e édition. 1869, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

DOLLFUS (Charles). **Considérations sur l'histoire.** Le monde antique. 1872, 1 vol. in-8. 7 fr. 50

DUBOST (Antonin). **Des conditions de gouvernement en France.** 1 vol. in-8. 7 fr. 50

DUGALD-STEVART. **Éléments de la philosophie de l'esprit humain,** traduit de l'anglais par Louis Peisse, 3 vol. in-12. 9 fr.

DU POTET. **Manuel de l'étudiant magnétiseur.** Nouvelle édition. 1868, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

DU POTET. **Traité complet de magnétisme,** cours en douze leçons. 1856, 3e édition, 1 vol. de 634 pages. 7 fr.

DUPUY (Paul). **Études politiques,** 1874, 1 v. in-8 de 236 pages. 3 fr. 50

DUVAL-JOUVE. **Traité de Logique,** ou essai sur la théorie de la science, 1855. 1 vol. in-8. 6 fr.

Éléments de science sociale. Religion physique, sexuelle et naturelle, ouvrage traduit sur la 7e édition anglaise. 1 fort vol. in-18, cartonné. 4 fr.

ÉLIPHAS LÉVI. **Dogme et rituel de la haute magie.** 1861, 2e édit., 2 vol. in-8, avec 24 fig. 18 fr.

ÉLIPHAS LÉVI. **Histoire de la magie,** avec une exposition claire et précise de ses procédés, de ses rites et de ses mystères. 1860, 1 vol. in-8, avec 90 fig. 12 fr.

ÉLIPHAS LÉVI. **La science des esprits,** révélation du dogme secret des Kabbalistes, esprit occulte de l'Évangile, appréciation des doctrines et des phénomènes spirites. 1865, 1 v. in-8. 7 fr.

ÉLIPHAS LÉVI. **Philosophie occulte.** Fables et symboles, avec leur explication où sont révélés les grands secrets de la direction du magnétisme universel et des principes fondamentaux du grand œuvre. 1863, 1 vol. in-8. 7 fr.

FAU. **Anatomie des formes du corps humain,** à l'usage des peintres et des sculpteurs. 1866, 1 vol. in-8 et atlas de 25 planches. 2e édition. Prix, fig. noires. 20 fr.
Prix, figures coloriées. 35 fr.

FERRON (de). **Théorie du progrès** (Histoire de l'idée du progrès. — Vico. — Herder. — Turgot. — Condorcet. — Saint-Simon. — Réfutation du césarisme). 1867, 2 vol. in-18. 7 fr.

FERRON (de). **La question des deux Chambres.** 1872, in-8 de 45 pages. 1 fr.

Em. FERRIÈRE. **Le darwinisme.** 1872, 1 vol. in-18. 4 fr. 50

FICHTE. **Méthode pour arriver à la vie bienheureuse,** traduit par Francisque Bouiller. 1 vol. in-8. 8 fr.

FICHTE. **Destination du savant et de l'homme de lettres,** traduit par M. Nicolas. 1 vol. in-8. 3 fr.

FICHTE. **Doctrines de la science.** Principes fondamentaux de la science de la connaissance, trad. par Grimblot. 1 vol. in-8. 9 fr.

FLEURY (Amédée). **Saint Paul et Sénèque**, recherches sur les rapports du philosophe avec l'apôtre et sur l'infiltration du christianisme naissant à travers le paganisme. 2 vol. in-8. 15 fr.

FOUCHER DE CAREIL. **Leibniz, Descartes, Spinoza.** In-8. 4 fr.

FOUCHER DE CAREIL. **Lettres et opuscules de Leibniz.** 1 vol. in-8. 3 fr. 50

FOUCHER DE CAREIL. **Leibniz et Pierre le Grand.** 1 vol. in-8. 1874. 2 fr.

FOUILLÉE (Alfred). **La philosophie de Socrate.** 2 vol. in-8. 16 fr.

FOUILLÉE (Alfred). **La philosophie de Platon.** 2 vol. in-8 16 fr

FOUILLÉE (Alfred). **La liberté et le déterminisme.** 1 fort vol. in-8. 7 fr. 50

FOUILLÉE (Alfred). **Platonis hippias minor sive Socratica,** 1 vol. in-8. 2 fr.

FRÉDÉRIQ. **Hygiène populaire.** 1 vol. in-12. 4 fr.

FRIBOURG. **Du paupérisme parisien**, de ses progrès depuis vingt-cinq ans. 1 fr. 25

HAMILTON (William). **Fragments de Philosophie,** traduits de l'anglais par Louis Peisse. 7 fr. 50

HEGEL. Voy. p. 13.

HERZEN. **Œuvres complètes.** Tome I[er]. *Récits et nouvelles.* 1874, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

HERZEN. **De l'autre Rive.** 4e édition, traduit du russe par M. Herzen fils. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

HERZEN. **Lettres de France et d'Italie.** 1871, in-18. 3 fr. 50

HUMBOLDT (G. de). **Essai sur les limites de l'action de l'État,** traduit de l'allemand, et précédé d'une Étude sur la vie et les travaux de l'auteur, par M. Chrétien, docteur en droit. 1867, in-18. 3 fr. 50

ISSAURAT. **Moments perdus de Pierre-Jean,** observations, pensées, rêveries antipolitiques, antimorales, antiphilosophiques, antimétaphysiques, anti tout ce qu'on voudra. 1868, 1 v. in-18. 3 fr.

ISSAURAT. **Les alarmes d'un père de famille,** suscitées, expliquées, justifiées et confirmées par lesdits faits et gestes de Mgr. Dupanloup et autres. 1868, in-8. 1 fr.

JANET (Paul). **Histoire de la science politique** dans ses rapports avec la morale. 2 vol. in-8. 20 fr.

JANET (Paul). **Études sur la dialectique** dans Platon et dans Hegel. 1 vol. in-8. 6 fr.

JANET (Paul). **Œuvres philosophiques de Leibniz.** 2 vol. in-8. 16 fr.

JANET (Paul). **Essai sur le médiateur plastique de Cudworth.** 1 vol. in-8. 1 fr.

KANT. **Critique de la raison pure**, précédé d'une préface par M. Jules Barni. 1870, 2 vol. in-8. 16 fr.

KANT. **Critique de la raison pure**, traduit par M. Tissot. 2 vol. in-8. 16 fr.

KANT. **Éléments métaphysiques de la doctrine du droit**, suivis d'un Essai philosophique sur la paix perpétuelle, traduits de l'allemand par M. Jules Barni. 1854, 1 vol. in-8. 8 fr.

KANT. **Principes métaphysiques du droit** suivi du *projet de paix perpétuelle*, traduction par M. Tissot. 1 vol. in-8. 8 fr.

KANT. **Éléments métaphysiques de la doctrine de la vertu**, suivi d'un Traité de pédagogie, etc. ; traduit de l'allemand par M. Jules Barni, avec une introduction analytique. 1855, 1 vol. in-8. 8 fr.

KANT. **Principes métaphysiques de la morale**, augmenté des *fondements de la métaphysique des mœurs*, traduction par M. Tissot. 1 vol. in-8. 8 fr.

KANT. **La logique**, traduction de M. Tissot. 1 vol. in-8. 4 fr.

KANT. **Mélanges de logique**, traduction par M. Tissot, 1 vol. in-8. 6 fr.

KANT. **Prolégomènes à toute métaphysique future** qui se présentera comme science, traduction de M. Tissot, 1 vol. in-8 6 fr.

KANT. **Anthropologie**, suivie de divers fragments relatifs aux rapports du physique et du moral de l'homme et du commerce des esprits d'un monde à l'autre, traduction par M. Tissot. 1 vol. in-8. 6 fr.

KANT. **Examen de la critique de la raison pratique**, traduit par J. Barni. 1 vol. in-8. 6 fr.

KANT. **Éclaircissements sur la critique de la raison pure**, traduit par J. Tissot. 1 vol. in-8. 6 fr.

KANT. **Critique du jugement**, suivie des *observations sur les sentiments du beau et du sublime*, traduit par J. Barni. 2 vol. in-8. 12 fr.

LABORDE. **Les hommes et les actes de l'insurrection de Paris** devant la psychologie morbide. Lettres à M. le docteur Moreau (de Tours). 1 vol. in-18. 2 fr. 50

LACHELIER. **Le fondement de l'induction.** 3 fr. 50

LACHELIER. **De natura syllogismi** apud facultatem litterarum Parisiensem, hæc disputabat. 1 fr. 50

LACOMBE. **Mes droits**. 1869, 1 vol. in-12. 2 fr. 50

LAMBERT. **Hygiène de l'Égypte**. 1873. 1 vol. in-18. 2 fr. 50

LANGLOIS. **L'homme et la Révolution**. Huit études dédiées à P.-J. Proudhon. 1867, 2 vol. in-18. 7 fr.

LAUSSEDAT. **La Suisse**. Études médicales et sociales. 2e édit., 1875. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

LE BERQUIER. **Le barreau moderne**. 1871, 2e édition, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

LE FORT. **La chirurgie militaire** et les Sociétés de secours en France et à l'étranger. 1873, 1 vol. gr. in-8, avec fig. 10 fr.

LE FORT. **Étude sur l'organisation de la Médecine** en France et à l'étranger. 1874, gr. in-8. 3 fr.

LEIBNIZ. **Œuvres philosophiques**, avec une Introduction et des notes par M. Paul Janet, 2 vol. in-8. 16 fr.

LITTRÉ. **Auguste Comte et Stuart Mill**, suivi de *Stuart Mill et la philosophie positive*, par M. G. Wyrouboff. 1867, in 8 de 86 pages. 2 fr.

LITTRÉ. **Application de la philosophie positive** au gouvernement des Sociétés. In-8. 3 fr. 50

LORAIN (P.). **Jenner et la vaccine**. Conférence historique. 1870, broch. in-8 de 48 pages. 1 fr. 50

LORAIN (P.). **L'assistance publique**. 1871, in-4 de 56 p. 1 fr.

LUBBOCK. **L'homme avant l'histoire**, étudié d'après les monuments et les costumes retrouvés dans les différents pays de l'Europe, suivi d'une Description comparée des mœurs des sauvages modernes, traduit de l'anglais par M. Ed. Barbier, avec 156 figures intercalées dans le texte. 1867, 1 beau vol. in-8, prix broché. 15 fr.

Relié en demi-maroquin avec nerfs. 18 fr.

LUBBOCK. **Les origines de la civilisation**. État primitif de l'homme et mœurs des sauvages modernes. 1873, 1 vol. grand in-8 avec figures et planches hors texte. Traduit de l'anglais par M. Ed. Barbier. 15 fr.

Relié en demi-maroquin avec nerfs. 18 fr.

MAGY. **De la science et de la nature**, essai de philosophie première. 1 vol. in-8. 6 fr.

MARAIS (Aug.). **Garibaldi et l'armée des Vosges**. 1872, 1 vol. in-18. 1 fr. 50

MAURY (Alfred). **Histoire des religions de la Grèce antique**. 3 vol. in-8. 24 fr.

MAX MULLER. **Amour allemand**. Traduit de l'allemand. 1 vol. in-18 imprimé en caractères elzéviriens. 3 fr. 50

MAZZINI. **Lettres à Daniel Stern** (1864-1872), avec une lettre autographiée. 1 v. in-18 imprimé en caractères elzéviriens. 3 fr. 50

MENIÈRE. **Cicéron médecin**, étude médico-littéraire. 1862, 1 vol. in-18. 4 fr. 50

MENIÈRE. **Les consultations de madame de Sévigné**, étude médico-littéraire. 1864, 1 vol. in-8. 3 fr.

MERVOYER. **Étude sur l'association des idées**. 1864, 1 vol. in-8. 6 fr.

MEUNIER (Victor). **La science et les savants**.
1re année, 1864. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
2e année, 1865. 1er semestre, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
2e année, 1865. 2e semestre, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
3e année, 1866. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
4e année, 1867. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

MILSAND. **Les études classiques** et l'enseignement public. 1873, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

MILSAND. **Le code et la liberté.** Liberté du mariage, liberté des testaments. 1865, in-8. 2 fr.

MIRON. **De la séparation du temporel et du spirituel.** 1866, in-8. 3 fr. 50

MORER. **Projet d'organisation de colléges cantonaux,** in-8 de 64 pages. 1 fr. 50

MORIN. **Du magnétisme et des sciences occultes.** 1860, 1 vol. in-8. 6 fr.

MUNARET. **Le médecin des villes et des campagnes.** 4[e] édition, 1862, 1 vol. grand in-18. 4 fr. 50

MUNARET. **Causeries et miscellanées.** Science, littérature, philosophie, esthétique, histoire de mon temps, boutades, etc. 1875. 1 vol. in-8. 5 fr.

NAQUET (A.). **La république radicale.** 1873, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

NOURRISSON. **Essai sur la philosophie de Bossuet.** 1 vol. in-8. 4 fr.

OGER. **Les Bonaparte** et les frontières de la France. In-18. 50 c.

OGER. **La République.** 1871, brochure in-8. 50 c.

OLLÉ-LAPRUNE. **La philosophie de Mallebranche.** 2 vol. in-8. 16 fr.

PARIS (comte de). **Les associations ouvrières en Angleterre** (trades-unions). 1869, 1 vol. gr. in-8. 2 fr. 50

Édition sur papier de Chine : broché. 12 fr.

— reliure de luxe. 20 fr.

PETROZ (P.). **L'art et la critique en France** depuis 1822. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

PUISSANT (Adolphe). **Erreurs et préjugés populaires.** 1873, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

REYMOND (William). **Histoire de l'art.** 1874, 1 vol. in-8. 5 fr.

RIBOT (Paul). **Matérialisme et spiritualisme.** 1873, in-8. 6 fr.

RIBOT (Th.). **La psychologie anglaise contemporaine** (James Mill, Stuart Mill, Herbert Spencer, A. Bain, G. Lewes, S. Bailey, J.-D. Morell, J. Murphy). 1870, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

RIBOT (Th.). **De l'hérédité.** 1873, 1 vol. in-8. 10 fr.

RITTER (Henri). **Histoire de la philosophie moderne,** traduction française précédée d'une introduction par P. Challemel-Lacour. 3 vol. in-8. 20 fr.

RITTER (Henri). **Histoire de la philosophie ancienne**, trad. par Tissot. 4 vol. 30 fr.

SAINT-MARC GIRARDIN. **La chute du second Empire.** In-4. 4 fr. 50

SALETTA. **Principe de logique positive**, ou traité de scepticisme positif. Première partie (de la connaissance en général). 1 vol. gr. in-8. 3 fr. 50

SARCHI. **Examen de la doctrine de Kant.** 1872, gr. in-8. 4 fr.

SCHELLING. **Écrits philosophiques** et morceaux propres à donner une idée de son système, traduit par Ch. Bénard. In-8. 9 fr.

SCHELLING. **Bruno** ou du principe divin, trad. par Husson. 1 vol. in-8. 3 fr. 50

SCHELLING. **Idéalisme trancendantal**, traduit par Grimblot. 1 vol. in-8. 7 fr. 50

SIÈREBOIS. **Autopsie de l'âme.** Identité du matérialisme et du vrai spiritualisme. 2e édit. 1873, 1 vol. in-18. 2 fr. 50

SIÈREBOIS. **La morale** fouillée dans ses fondements. Essai d'anthropodicée. 1867, 1 vol. in-8. 6 fr.

SOREL (ALBERT). **Le traité de Paris du 20 novembre 1815.** Leçons professées à l'École libre des sciences politiques par M. Albert SOREL, professeur d'histoire diplomatique. 1873, 1 vol. in-8. 4 fr. 50

SPENCER (HERBERT). Voyez p. 3.

STUART MILL. Voyez page 3.

THULIÉ. **La folie et la loi.** 1867, 2e édit., 1 vol. in-8. 3 fr. 50

THULIÉ. **La manie raisonnante du docteur Campagne.** 1870, broch. in-8 de 132 pages. 2 fr.

TIBERGHIEN. **Les commandements de l'humanité.** 1872, 1 vol. in-18. 3 fr.

TIBERGHIEN. **Enseignement et philosophie.** 1873, 1 vol. in-18. 4 fr.

TISSANDIER. **Études de Théodicée.** 1869, in-8 de 270 p. 4 fr.

TISSOT. Voyez KANT.

TISSOT. **Principes de morale**, leur caractère rationnel et universel, leur application. Ouvrage couronné par l'Institut. 1 vol. in-8. 6 fr.

VACHEROT. **Histoire de l'école d'Alexandrie.** 3 vol. in-8. 24 fr.

VALETTE. **Cours de Code civil** professé à la Faculté de droit de Paris. Tome I, première année (Titre préliminaire — Livre premier). 1873, 1 fort vol. in-18. 8 fr.

VALMONT. **L'espion prussien.** 1872, roman traduit de l'anglais. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

VÉRA. **Strauss. L'ancienne et la nouvelle foi.** 1873, in-8. 6 fr.

VÉRA. **Cavour et l'Église libre dans l'État libre**, 1874, in-8. 3 fr. 50

VÉRA. **Traduction de Hégel.** Voy. page 13.

VILLIAUMÉ. **La politique moderne,** traité complet de politique. 1873, 1 beau vol. in-8. 6 fr.

WEBER. **Histoire de la philosophie européenne.** 1871, 1 vol. in-8. 10 fr.

YUNG (EUGÈNE). **Henri IV, écrivain.** 1 vol. in-8. 1855. 5 fr.

ZIMMERMANN. **De la solitude,** des causes qui en font naître le goût, de ses inconvénients, de ses avantages, et son influence sur les passions, l'imagination, l'esprit et le cœur, traduit de l'allemand par N. Jourdan. Nouvelle édition. 1840, in-8. 3 fr. 50

L'Europe orientale. Son état présent, sa réorganisation, avec deux tableaux ethnographiques, 1873. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

Le Pays Jougo-Slave (Croatie-Serbie). Son état physique et politique, 1874. in-18. 3 fr. 50

Annales de l'Assemblée nationale. Compte rendu *in extenso* des séances, annexes, rapports, projets de loi, propositions, etc. Prix de chaque volume. 15 fr.
Trente volumes sont en vente.

Loi de recrutement des armées de terre et de mer, promulguée le 16 août 1872. Compte rendu *in extenso* des trois délibérations. — Lois des 10 mars 1818, 21 mars 1832, 21 avril 1855, 1er février 1868. 1 vol. gr. in-4 à 3 colonnes. 12 fr.

ENQUÊTE PARLEMENTAIRE SUR LES ACTES DU GOUVERNEMENT
DE LA DÉFENSE NATIONALE

DÉPOSITIONS DES TÉMOINS :

TOME PREMIER. Dépositions de MM. Thiers, maréchal Mac-Mahon, maréchal Le Bœuf, Benedetti, duc de Gramont, de Talhouët, amiral Rigault de Genouilly, baron Jérôme David, général de Palikao, Jules Brame, Clément Duvernois, Dréolle, Rouher, Piétri, Chevreau, général Trochu, J. Favre, J. Ferry, Garnier-Pagès, Emmanuel Arago, Pelletan, Ernest Picard, J. Simon, Magnin, Dorian, Ét. Arago, Gambetta, Crémieux, Glais-Bizoin, général Le Flô, amiral Fourichon, de Kératry,

TOME DEUXIÈME. Dépositions de MM. de Chaudordy, Laurier, Cresson, Dréo, Ranc, Rampont, Steenackers, Fernique, Robert, Schneider, Buffet, Lebreton et Hébert, Bellangé, colonel Alavoine, Gervais, Bécherelle, Robin, Muller, Boutefoy, Meyer, Clément et Simonneau, Fontaine, Jacob, Lemaire, Petetin, Guyot-Montpayroux, général Soumain, de Legge, colonel Vabre, de Crisenoy, colonel Ibos, Hémar, Frère, Read, Kergall, général Schmitz, Johnston, colonel Dauvergne, Didier, de Lareinty, Arnaud de l'Ariége, général Tamisier, Baudouin de Mortemart, Ernault, colonel Chaper, général Mazure, Bérenger, Le Royer, Ducarre, Challemel-Lacour, Rouvier, Autran, Esquiros, Gent, Naquet, Thourel, Gatien-Arnoult, Fourcand.

TOME TROISIÈME. Dépositions militaires de MM. de Freycinet, de Serres, le général Lefort, le général Ducrot, le général Vinoy, le lieutenant de vaisseau Farcy, le commandant Amet, l'amiral Pothuau, Jean Brunet, le général de Beaufort-d'Hautpoul, le général de Valdan, le général d'Aurelle de Paladines, le général Chanzy, le général Martin des Pallières, le général de Sonis, le général Crouzat, le général de la Motterouge, le général Fiéreck, l'amiral Jauréguiberry, le général Faidherbe, le général Paulze d'Ivoy, Testelin, le général Bourbaki, le général Clinchant, le colonel Leperche, le général Pallu de la Barrière, Rolland, Keller, le général Billot, le général Borel, le général Pellissier, l'intendant Friant, le général Cremer, le comte de Chaudordy.

TOME QUATRIÈME. Dépositions de MM. le général Bordone, Mathieu, de Laborie, Luce-Villiard, Castillon, Debusschère, Darcy, Chenet, de La Taille, Baillehache, de Grancey, L'Hermite, Pradier, Middleton, Frédéric Morin, Thoyot, le maréchal Bazaine, le général Boyer, le maréchal Canrobert, le général Ladmirault, Prost, le général Bressoles, Josseau, Spuller, Corbon, Dalloz, Henri Martin, Vacherot, Marc Dufraisse, Raoul Duval, Delille, de Laubespin, frère Dagobertus, frère Alcas, l'abbé d'Hulst, Bourgoin, Eschassériaux, Silvy, Le Nordez, Gréard, Guibert, Périn; errata et note à l'appui de la déposition de M. Darcy, annexe à la déposition de M. Testelin, note de M. le colonel Denfert, note de la Commission.

RAPPORTS :

TOME PREMIER Rapport de M. *Chaper* sur les procès-verbaux des séances du Gouvernement de la Défense nationale. — Rapport de M. *de Sugny* sur les événements de Lyon sous le Gouvernement de la Défense nationale. — Rapport de M. *de Rességuier* sur les actes du Gouvernement de la Défense nationale dans le sud-ouest de la France.

TOME DEUXIÈME. Rapport de M. *Saint-Marc Girardin* sur la chute du second Empire. — Rapport de M. *de Sugny* sur les événements de Marseille sous le Gouvernement de la Défense nationale.

TOME TROISIÈME. Rapport de M. le comte *Daru*, sur la politique du Gouvernement de la Défense nationale à Paris.

TOME QUATRIÈME. Rapport de M. *Chaper*, sur l'examen au point de vue militaire des actes du Gouvernement de la Défense nationale à Paris.

TOME CINQUIÈME. Rapport de M. *Boreau-Lajanadie*, sur l'emprunt Morgan. — Rapport de M. *de la Borderie*, sur le camp de Conlie et l'armée de Bretagne. — Rapport de M. *de la Sicotière*, sur l'affaire de Dreux.

TOME SIXIÈME. Rapport de M. *de Rainneville* sur les actes diplomatiques du Gouvernement de la Défense nationale. — Rapport de M. *A. Lallié* sur les postes et les télégraphes pendant la guerre. — Rapport de M. *Delsol* sur la ligne du Sud-Ouest. — Rapport de M. *Perrot* sur la défense nationale en province. (1re *partie*.)

TOME SEPTIÈME. Rapport de M. *Perrot* sur les actes militaires du Gouvernement de la Défense nationale en province (2e *partie* : Expédition de l'Est).

TOME HUITIÈME. Rapport de M. *de la Sicotière* sur l'Algérie.

TOME NEUVIÈME. Algérie, dépositions des témoins. Table générale et analytique des dépositions des témoins avec renvoi aux rapports des membres de la commission (10 fr.).

PIÈCES JUSTIFICATIVES :

TOME PREMIER. Dépêches télégraphiques officielles, première partie.

TOME DEUXIÈME. Dépêches télégraphiques officielles, deuxième partie. Pièces justificatives du rapport de M. Saint-Marc Girardin.

Prix de chaque volume... 15 fr.

Rapports se vendant séparément :

DE RESSÉGUIER. Les événements de Toulouse sous le Gouvernement de la Défense nationale. In-4. 2 fr. 50

SAINT-MARC GIRARDIN. — La chute du second Empire. In-4. 4 fr. 50

DE SUGNY. — Les événements de Marseille sous le Gouvernement de la Défense nationale. In-4. 10 fr.

DE SUGNY. — Les événements de Lyon sous le Gouvernement de la Défense nationale. In-4. 7 fr.

DARU. — La politique du Gouvernement de la Défense nationale à Paris. In-4. 15 fr.

CHAPER. — Examen au point de vue militaire des actes du Gouvernement de la Défense à Paris. In-4. 15 fr.

CHAPER. — Les procès-verbaux des séances du Gouvernement de la Défense nationale. In-4. 5 fr.

BOREAU-LAJANADIE. — L'emprunt Morgan. In-4. 4 fr. 50

DE LA BORDERIE. — Le camp de Conlie et l'armée de Bretagne. in-4. 10 fr.

DE LA SICOTIÈRE. — L'affaire de Dreux. In-4. 2 fr. 50

DE LA SICOTIÈRE L'Algérie sous le gouvernement de la Défense nationale. 2 vol. in-4. 22 fr.

DE RAINNEVILLE. Les actes diplomatiques du gouvernement de la Défense nationale. 1 vol. in-4. 3 fr. 50

LALLIÉ. Les postes et les télégraphes pendant la guerre. 1 vol. in-4. 1 fr. 50

DELSOL. La ligne du sud-ouest. 1 vol. in-4. 1 fr. 50

PERROT. Le gouvernement de la Défense nationale en province. 2 vol. in-4. 25 fr.

Table générale et analytique des dépositions des témoins. 3 fr. 50

ENQUÊTE PARLEMENTAIRE
SUR
L'INSURRECTION DU 18 MARS

édition contenant *in-extenso* les trois volumes distribués à l'Assemblée nationale.

1° RAPPORTS. Rapport général de M. Martial Delpit. Rapports de MM. *de Meaux*, sur les mouvements insurrectionnels en province; *de Massy*, sur le mouvement insurrectionnel à Marseille; *Meplain*, sur le mouvement insurrectionnel à Toulouse; *de Chamaillard*, sur les mouvements insurrectionnels à Bordeaux et à Tours; *Delille*, sur le mouvement insurrectionnel à Limoges; *Vacherot*, sur le rôle des municipalités; *Ducarre*, sur le rôle de l'Internationale; *Boreau-Lajanadie*, sur le rôle de la presse révolutionnaire à Paris; *de Cumont*, sur le rôle de la presse révolutionnaire en province; *de Saint-Pierre*, sur la garde nationale de Paris pendant l'insurrection; *de Larochetheulon*, sur l'armée et la garde nationale de Paris avant le 18 mars. — Rapports de MM. *les premiers présidents des Cours d'appel*. — Rapports de MM. les *préfets* de l'Ardèche, des Ardennes, de l'Aude, du Gers, de l'Isère, de la Haute-Loire, du Loiret, de la Nièvre, du Nord, des Pyrénées-Orientales, de la Sarthe, de Seine-et-Marne, de Seine-et-Oise de la Seine-Inférieure, de Vaucluse. — Rapports de MM. les chefs de légion de gendarmerie.

2° DÉPOSITIONS de MM. Thiers, maréchal Mac-Mahon, général Trochu, J. Favre, Ernest Picard, J. Ferry, général Le Flô, général Vinoy, colonel Lambert, colonel Gaillard, général Appert, Floquet, général Cremer, amiral Saisset, Schœlcher, Tirard, Vautrain, Vacherot, général d'Aurelle de Paladines, Turquet, de Plœuc, amiral Pothuau, colonel Langlois, colonel Le Mains, colonel Vabre, Héligon, Tolain, Fribourg, Corbon, Ducarre, etc.

3° PIÈCES JUSTIFICATIVES. Déposition de M. le général Ducrot. Procès-verbaux du Comité central, du Comité de salut public, de l'Internationale, de la délégation des vingt arrondissements, de l'Alliance républicaine, de la Commune. — Lettre du prince Czartoryski sur les Polonais. — Réclamations et errata.

Édition populaire contenant *in extenso* les trois volumes distribués aux membres de l'Assemblée nationale.

Prix : 16 francs.

COLLECTION ELZÉVIRIENNE

Lettres de Joseph Mazzini à Daniel Stern (1864-1872), avec une lettre autographiée. 3 fr. 50

Amour allemand, par MAX MULLER, traduit de l'allemand. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

La mort des rois de France depuis François I[er] jusqu'à la Révolution française, études médicales et historiques, par M. le docteur CORLIEU. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

Libre examen, par LOUIS VIARDOT. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

L'Algérie, impressions de voyage, par M. CLAMAGERAN. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

La République de 1848, par J. STUART MILL, traduit de l'anglais, avec préface par M. SADI CARNOT, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

ÉTUDES CONTEMPORAINES

Les bourgeois gentilshommes. — L'armée d'Henri V, par Adolphe BOUILLET. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

Les bourgeois gentilshommes. — L'armée d'Henri V. Types nouveaux et inédits, par A. BOUILLET. 1 v. in-18. 2 fr. 50

Les Bourgeois gentilshommes. — L'armée d'Henri V. L'arrière-ban de l'ordre moral, par A. Bouillet. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

L'espion prussien, roman anglais par V. VALMONT, traduit par M. J. DUBRISAY. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

La Commune et ses idées à travers l'histoire, par Edgar BOURLOTON et Edmond ROBERT. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

Du principe autoritaire et du principe rationnel, par M. Jean Chasseriau. 1873. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

La République radicale, par A. NAQUET, membre de l'Assemblée nationale. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

RÉCENTES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

AGASSIZ. **De l'espèce et des classifications en zoologie.** 1 vol. in-8. 5 fr.

ARCHIAC (D'). **Leçons sur la faune quaternaire**, professées au Muséum d'histoire naturelle. 1865, 1 vol. in-8. 3 fr. 50

BAIN. **Les sens et l'intelligence**, trad. de l'anglais, 1874 1 vol. in-8. 10 fr.

BAGEHOT. **Lois scientifiques du développement des nations.** 1873, 1 vol. in-4, cartonné. 6 fr.

BÉRAUD (B.-J.). **Atlas complet d'anatomie chirurgicale topographique,** pouvant servir de complément à tous les ouvrages d'anatomie chirurgicale, composé de 109 planches représentant plus de 200 gravures dessinées d'après nature par M. Bion, et avec texte explicatif. 1865, 1 fort vol. in-4.

Prix : fig. noires, relié. 60 fr.
— fig. coloriées, relié. 120 fr.

Ce bel ouvrage, auquel on a travaillé pendant sept ans, est le plus complet qui ait été publié sur ce sujet. Toutes les pièces disséquées dans l'amphithéâtre des hôpitaux ont été reproduites d'après nature par M. Bion, et ensuite gravées sur acier par les meilleurs artistes. Après l'explication de chaque planche, l'auteur a ajouté les applications à la pathologie chirurgicale, à la médecine opératoire, se rapportant à la région représentée.

BERNARD (Claude). **Leçons sur les propriétés des tissus vivants** faites à la Sorbonne, rédigées par Emile ALGLAVE, avec 94 fig. dans le texte. 1866, 1 vol. in-8. 8 fr.

BLANCHARD. **Les Métamorphoses, les Mœurs et les Instincts des insectes,** par M. Emile Blanchard, de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle. 1868, 1 magnifique volume in-8 jésus, avec 160 figures intercalées dans le texte et 40 grandes planches hors texte. Prix, broché. 30 fr.
Relié en demi-maroquin. 35 fr.

BLANQUI. **L'éternité par les astres,** hypothèse astronomique, 1872, in-8. 2 fr.

BOCQUILLON. **Manuel d'histoire naturelle médicale.** 1871, 1 vol. in-18, avec 415 fig. dans le texte. 14 fr.

BOUCHARDAT. **Manuel de matière médicale,** de thérapeutique comparée et de pharmacie. 1873, 5e édition, 2 vol. gr. in-18. 16 fr.

BOUCHUT. **Histoire de la médecine et des doctrines médicales.** 1873, 2 vol. in-8. 16 fr.

BUCHNER (Louis). **Science et Nature,** traduit de l'allemand par A. Delondre. 1866, 2 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 5 fr.

CLÉMENCEAU. **De la génération des éléments anatomiques,** précédé d'une Introduction par M. le professeur Robin. 1867, in-8. 5 fr.

Conférences historiques de la Faculté de médecine faites pendant l'année 1865 (*les Chirurgiens érudits*, par M. Verneuil.—*Guy de Chauliac*, par M. Follin.—*Celse*, par M. Broca. — *Wurtzius*, par M. Trélat. — *Rioland*, par M. Le Fort. — *Leuret*, par M. Tarnier. — *Harvey*, par M. Béclard. — *Stahl*, par M. Lasègue. — *Jenner*, par M. Lorain. — *Jean de Vier*, par M. Axenfeld. — *Laennec*, par M. Chauffard. — *Sylvius*, par M. Gubler. — *Stoll*, par M. Parot). 1 vol. in-8. 6 fr.

DELVAILLE. **Lettres médicales sur l'Angleterre.** 1874, in-8. 1 fr. 50

DUMONT (L.-A.). **Hæckel et la théorie de l'évolution en Allemagne.** 1873, 1 vol. in-18. 2 fr. 50

DURAND (de Gros). **Essais de physiologie philosophique.** 1866, 1 vol. in-8. 8 fr.

DURAND (de Gros). **Ontologie** et psychologie physiologique. Études critiques. 1871, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

DURAND (de Gros). **Origines animales de l'homme**, éclairées par la physiologie et l'anatomie comparative. Grand in-8, 1871, avec fig. 5 fr.

DURAND-FARDEL. **Traité thérapeutique des eaux minérales** de la France, de l'étranger et de leur emploi dans les maladies chroniques. 2e édition, 1 vol. in-8 de 780 p. avec cartes coloriées. 9 fr.

FAIVRE. **De la variabilité de l'espèce.** 1868, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine*. 2 fr. 50

FAU. **Anatomie des formes du corps humain**, à l'usage des peintres et des sculpteurs. 1866, 1 vol. in-8 avec atlas in-folio de 25 planches.

Prix : fig. noires. 20 fr.
— fig. coloriées. 5 fr.

W. DE FONVIELLE. **L'Astronomie moderne.** 1869, 1 vol. de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine*. 2 fr. 50

GARNIER. **Dictionnaire annuel des progrès des sciences et institutions médicales**, suite et complément de tous les dictionnaires. 1 vol. in-12 de 600 pages. 7 fr.

GRÉHANT. **Manuel de physique médicale.** 1869, 1 volume in-18, avec 469 figures dans le texte. 7 fr.

GRÉHANT. **Tableaux d'analyse chimique** conduisant à la détermination de la base et de l'acide d'un sel inorganique isolé, avec les couleurs caractéristiques des précipités. 1862, in-4, cart. 3 fr. 50

GRIMAUX. **Chimie organique élémentaire**, leçons professées à la Faculté de médecine. 1872, 1 vol. in-18 avec figures. 4 fr. 50

GRIMAUX. **Chimie inorganique élémentaire.** Leçons professées à la Faculté de médecine, 1874, 1 vol. in-8 avec fig. 5 fr.

GROVE. **Corrélation des forces physiques**, traduit par M. l'abbé Moigno, avec des notes par M. Séguin aîné. 1 vol. in-8. 7 fr. 50

HERZEN. **Physiologie de la Volonté**, 1874. 1 vol. de la *Bibliothèque de Philosophie contemporaine*. 2 fr. 50

JAMAIN. **Nouveau Traité élémentaire d'anatomie descriptive et de préparations anatomiques.** 3e édition, 1867, 1 vol. grand in-18 de 900 pages, avec 223 fig. intercalées dans le texte. 12 fr.

JANET (Paul). **Le Cerveau et la Pensée.** 1867, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

LAUGEL. **Les Problèmes** (problèmes de la nature, problèmes de la vie, problèmes de l'âme), 1873, 2e édition, 1 fort vol. in-8. 7 fr. 50

LAUGEL. **La Voix, l'Oreille et la Musique.** 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

LAUGEL. **L'Optique et les Arts.** 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

LE FORT. **La chirurgie militaire** et les sociétés de secours en France et à l'étranger. 1873, 1 vol. gr. in-8 avec figures dans le texte. 10 fr.

LEMOINE (Albert). **Le Vitalisme et l'Animisme de Stahl.** 1864, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

LEMOINE (Albert). **De la physionomie et de la parole.** 1865. 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

LEMOINE (Albert). **L'habitude et l'instinct**, études de psychologie comparée. 1875, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

LEYDIG. **Traité d'histologie comparée de l'homme e des animaux**, traduit de l'allemand par M. le docteu LABILLONNE. 1 fort vol. in-8 avec 200 figures dans le texte 1866. 15 fr

LONGET. **Traité de physiologie.** 3e édition, 1873, 3 vol. gr. in-8. 36 fr.

LONGET. **Tableaux de Physiologie.** Mouvement circulaire de la matière dans les trois règnes, avec figures. 2e édition, 1874. 7 fr.

LUBBOCK. **L'Homme avant l'histoire,** étudié d'après les monuments et les costumes retrouvés dans les différents pays de l'Europe, suivi d'une description comparée des mœurs des sauvages modernes, traduit de l'anglais par M. Ed. Barbier, avec 156 figures intercalées dans le texte. 1867. 1 beau vol. in-8, broché. 15 fr.
Relié en demi-maroquin avec nerfs. 18 fr.

LUBBOCK. **Les origines de la civilisation,** état primitif de l'homme et mœurs des sauvages modernes, traduit de l'anglais sur la seconde édition. 1873, 1 vol. in-8 avec figures et planches hors texte. 15 fr.
Relié en demi-maroquin. 18 fr.

MAREY. **Du mouvement dans les fonctions de la vie.** 1868, 1 vol. in-8, avec 200 figures dans le texte. 10 fr.

MAREY. **La machine animale,** 1873, 1 vol. in-8 avec 200 fig. cartonné à l'anglaise. 6 fr.

MOLESCHOTT (J.). **La Circulation de la vie,** Lettres sur la physiologie en réponse aux Lettres sur la chimie de Liebig, traduit de l'allemand par M. le docteur Cazelles. 2 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 5 fr.

MUNARET. **Le médecin des villes et des campagnes,** 4e édition, 1862. 1 vol. gr. in-18. 4 fr. 50

ONIMUS. **De la théorie dynamique de la chaleur dans les sciences biologiques.** 1866. 3 fr.

QUATREFAGES (de). **Charles Darwin et ses précurseurs français.** Étude sur le transformisme. 1870, 1 vol. in-8. 5 fr.

RICHE. **Manuel de chimie médicale.** 1874, 2e édition, 1 vol. in-18 avec 200 fig. dans le texte. 8 fr.

ROBIN (Ch.). **Journal de l'anatomie et de la physiologie** normales et pathologiques de l'homme et des animaux, dirigé par M. le professeur Ch. Robin (de l'Institut), paraissant tous les deux mois par livraison de 7 feuilles gr. in-8 avec planches.
Prix de l'abonnement, pour la France. 20 fr.
— pour l'étranger. 24 fr.

ROISEL. **Les Atlantes.** 1874, 1 vol. in-8. 7 fr.

SAIGEY (Émile). **Les sciences au XVIIIe siècle.** La physique de Voltaire. 1873, 1 vol. in-8. 5 fr.

SAIGEY (Émile). **La Physique moderne.** Essai sur l'unité des phénomènes naturels. 1868, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

SCHIFF. **Leçons sur la physiologie de la digestion,** faites au Muséum d'histoire naturelle de Florence. 2 vol. gr. in-8. 20 fr.